This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

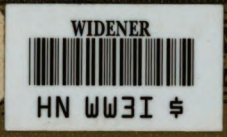
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Astr 6058 98



Sammlung Göschen

Mathematische Geographie

von

Kurt Geissler

ammlung Göschen. Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

Astr 6058.98

Harvard College Library.

FROM THE

MARY OSGOOD LEGACY.

"To purchase such books as shall be most needed for the College Library, so as best to promote the objects of the College."

Received June 2, 1900.

Digitized by Google

Sammlung Göschen. Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

33 **Deutsche Geschichte** im Mittelalter von Dr. F. Kurze.

36 **Herder, Cid.** Herausg. von Dr. E. Naumann.

37 **Chemie, anorganische** von Dr. Jos. Klein.

38 **Chemie, organische** von Dr. Jos. Klein.

39 **Zeichenschule** mit 17 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck und 135 Voll- und Textbildern von R. Kimmich.

40 **Deutsche Poetik** von Dr.

41 **Geometrie** R. Borinski. von Prof. Mahler. Mit 116 zweifarb. Fig.

42 **Urgeschichte der Menschheit** von Dr. M. Hörnes. Mit 48 Abbildgn.

43 **Geschichte des alten Morgenlandes** von Prof. Dr. Fr. Hommel. Mit 6 Bildern und 1 Karte.

44 **Die Pflanze,** ihr Bau u. ihr Leben v. Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen.

45 **Römische Altertumskunde** von Dr. Leo Bloch. Mit 7 Vollbildern.

46 **Das Waltharilied** im Versmaße der Urschrift übersetzt u. erl. v. Prof. Dr. H. Althof.

47 **Arithmetik u. Algebra** von Prof. Dr. H. Schubert.

48 **Beispielsammlung zur „Arithmetik u. Algebra"** von Prof. Dr. H. Schubert.

49 **Griechische Geschichte** von Prof. Dr. H. Swoboda.

50 **Schulpraxis** von Schuldirektor R. Seyfert.

51 **Mathem. Formelsammlung** v. Prof. O. Bürklen. Mit 17 Fig.

52 **Römische Litteraturgeschichte** von Herm. Joachim.

53 **Niedere Analysis** von Dr. Benedikt Sporer. Mit 5 Fig.

54 **Meteorologie** von Dr. W. Trabert. Mit 49 Abbild. und 7 Tafeln.

55 **Das Fremdwort im Deutschen** von Dr. Rud. Kleinpaul.

56 **Dtsche. Kulturgeschichte** von Dr. Reinh. Günther.

57 **Perspektive** v. Hans Freyberger. Mit 88 Fig.

58 **Geometrisches Zeichnen** von Hugo Becker. Mit 282 Abb.

59 **Indogermanische Sprachwissenschaft** von Prof. Dr. R. Meringer.

60 **Tierkunde** v. Dr. Franz v. Wagner. Mit 78 Abbild.

61 **Deutsche Redelehre** von Hans Probst. Mit einer Tafel.

62 **Länderkunde v. Europa.** Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Von Professor Dr. Franz Heiderich.

63 **Länderkunde der außereurop. Erdteile.** Mit 11 Textkärtchen u. Profilen. V. Prof. Dr. Franz Heiderich.

64 **Kurzgefaßtes Deutsches Wörterbuch.** Von Dr. F. Detter.

65 **Analytische Geometrie** der Ebene von Prof. Dr. M. Simon. Mit 40 Fig.

66 **Russische Grammatik** von Dr. Erich Berneker.

67 **Russisches Lesebuch** von Dr. Erich Berneker.

68 **Russisches Gesprächbuch** von Dr. Erich Berneker.

69 **Englische Litteraturgeschichte** von Prof. Dr. Karl Weiser.

70 **Griechische Litteraturgeschichte** von Prof. Dr. Alfred Gercke.

Digitized by Google

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung. Leipzig.

71 **Chemie, Allgemeine u. physikalische.** von Dr. Max Rudolphi.

72 **Projektive Geometrie** von Dr. Karl Doehlemann. Mit 57 zum Teil zweifarbigen Figuren.

73 **Völkerkunde** von Dr. Michael Haberlandt. Mit 86 Abbildungen.

74 **Die Baukunst d. Abendlandes** von Dr. R. Schäfer. Mit 22 Abb.

75 **Die Graphischen Künste** von Carl Kampmann. Mit 3 Beilagen und 39 Abbildungen.

76 **Theoretische Physik,** I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Prof. Dr. Gustav Jäger. Mit vielen Abbildgn.

77 **Theoretische Physik,** II. Teil: Licht und Wärme. Von Prof. Dr. Gustav Jäger. Mit vielen Abbildgn.

78 **Theoretische Physik,** III. Teil: Elektricität und Magnetismus. Von Prof. Dr. Gustav Jäger. Mit vielen Abbildgn.

79 **Gotische Sprachdenkmäler** mit Grammatik, Uebersetzung u. Erläuterungen v. Dr. Hermann Janssen.

80 **Stilkunde** von Karl Otto Hartmann. Mit zahlr. Abbildgn. und Tafeln.

81 **Logarithmentafeln,** vierstellige, von Prof. Dr. Hermann Schubert. In zweifarb. Druck.

82 **Lateinische Grammatik** von Prof. Dr. W. Votsch.

83 **Indische Religionswissenschaft** von Prof. Dr. Edmund Hardy.

84 **Nautik** von Direktor Dr. Franz Schulze. Mit 56 Abbildgn.

85 **Französische Geschichte** von Prof. Dr. R. Sternfeld.

86 **Kurzschrift.** Lehrbuch der vereinfachten deutschen Stenographie (System Stolze-Schrey) von

87 **Höhere Analysis I:** Differentialrechnung. Von Dr. Frdr. Junker. Mit 63 Fig.

88 **Höhere Analysis II:** Integralrechnung. Von Dr. Frdr. Junker. Mit 85 Figuren.

89 **Analytische Geometrie des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon. Mit 28 Abbildungen.

90 **Ethik** von Prof. Dr. Th. Achelis.

91 **Astrophysik,** die Beschaffenheit d. Himmelskörper von Prof. Dr. Walter F. Wislicenus.

92 **Mathemat. Geographie** zusammenhängend entwickelt und mit geordneten Denkübungen versehen von Kurt Geißler.

93 **Deutsches Leben im 12. Jahrhundert.** Kulturhist. Erläuterungen z. Nibelungenlied u. zur Kudrun. Von Prof. Dr. Jul. Dieffenbacher. Mit vielen Abbildgn.

94 **Photographie.** Von H. Keßler. Mit 1 Lichtdruckbeilage u. zahlr. Abbildgn.

95 **Paläontologie.** Von Prof. Dr. Rud. Hoernes. Mit vielen Abbildgn.

96 **Bewegungsspiele** von Prof. Dr. E. Kohlrausch. Mit 14 Abbildungen.

97 **Stereometrie** von Dr. Glaser. Mit 44 Figuren.

98 **Grundriß der Psychophysik** von Dr. G. F. Lipps.

99 **Trigonometrie** von Dr. Gerh. Hessenberg. Mit vielen Figuren.

100 **Sächsische Geschichte** von Rektor Prof. Dr. O. Kaemmel.

101 **Sociologie** von Prof. Dr. Th. Achelis.

102 **Geodäsie** von Prof. Dr. E. Reinhertz.

Digitized by Google

Kleine mathematische Bibliothek

aus der **Sammlung Göschen.**

Jedes Bändchen elegant gebunden 80 Pfennig.

Ebene Geometrie mit 115 zweifarbigen Figuren von Prof. G. Mahler. Zweite Auflage. Nr. 41.

Arithmetik und Algebra von Professor Dr. Hermann Schubert. Zweite Auflage. Nr. 47.

Beispiel-Sammlung zur **Arithmetik** und **Algebra** von Professor Dr. Hermann Schubert. Nr. 48.

Formelsammlung u. **Repetitorium** der **Mathematik** mit 20 Fig. v. Prof. Bürklen. Zweite Aufl. Nr. 51.

Niedere Analysis mit 6 Figuren von Dr. Benedikt Sporer. Nr. 53.

Geometrisches Zeichnen mit 282 Figuren von Architekt H. Becker. Nr. 58.

Analytische Geometrie der Ebene mit 45 Figuren von Prof. Dr. M. Simon. Nr. 65.

Projective Geometrie in synthetischer Behandlung mit 57 Figuren von Dr. K. Doehlemann. Nr. 72.

Vierstellige Logarithmen von Professor Dr. Hermann Schubert. In zweifarbigem Druck. Nr. 81.

Digitized by Google

Digitized by Google

Sammlung Göschen

⊙

Mathematische Geographie

zusammenhängend

entwickelt und mit geordneten Denkübungen versehen

von

Friedrich Jakob

Kurt Geissler

Leipzig
G. J. Göschen'sche Verlagshandlung
1898

Digitized by Google

AstrCC58.98

HARVARD COLLEGE
JUN 2 1900
LIBRARY

Mary Osgood fund

Alle Rechte, insbesondere das Uebersetzungsrecht von der Verlagshandlung vorbehalten.

PRESERVATION MASTER
AT HARVARD

Druck und Einband von Carl Rembold & Co. in Heilbronn.

Digitized by Google

Inhalt.

		Seite
1.	Vorübungen in geometrischer Anschauung	7
2.	Die Gestalt der Erdoberfläche	12
3.	Die Auffindung bestimmter Richtungen	18
4.	Die Beobachtung der täglichen Sternbewegung	24
5.	Der nördliche Sternenhimmel und das Aequator-Pol-System	33
6.	Die Messung der Erdkrümmung von Süden nach Norden durch die Polhöhe	39
7.	Die Messung der Erdkrümmung von Osten nach Westen	46
8.	Die Erdanziehung, das Pendel und die Pendeluhr	48
9.	Die Umdrehung der Erde	56
10.	Die Schwungkraft	67
11	Das Mass der Zeit und die Erdmaasse	74
12.	Die Sicherheit der grundlegenden Schlüsse	82
13.	Die scheinbare Sonnenbewegung	87
14.	Der Frühlingspunkt als Anfangspunkt	93
15.	Die mittlere Sonne und der Jahresanfang	97
16.	Die Schleifen der Planetenbahnen und der Erdlauf nach Kopernikus	105
17.	Keplers Gesetze	113
18.	Die Parallaxe und die Entfernung der Sonne	117
19.	Die Geschwindigkeit des Lichtes	125
20.	Die Aberration des Fixsternlichtes	130
21.	Die Mondbahn	135
22	Newtons Gesetz der Massenanziehung	144
23.	Die drei Körper. Störungen. Flut und Ebbe	152
24.	Die Praecession der Tagundnachtgleichen	163
25.	Der Kalender	172
26.	Entstehung und Zukunft der Erde	177
	Alphabetisches Register	184

Digitized by Google

Digitized by Google

1. Vorübungen in geometrischer Anschauung.

Wir wollen unsere Umgebung möglichst einfach, ohne Ueberflüssiges, aber doch genau räumlich beschreiben. Von irgend einer Stelle wird man anfangen. Ein Ort ohne Ausdehnung heisst ein Punkt. Was ist eine Linie, eine Gerade, eine Fläche, Ebene, ein Winkel, ein Kreis, ein Körper? Ein festgewählter Punkt heisse der Anfangspunkt (Nullpunkt). Wie beschreiben wir die Lage eines zweiten beziehlich des ersten? Solche Ausmessungsgrössen, welche unentbehrlich sind, um die Lage irgend eines Punktes zu einem Anfangspunkte unzweideutig festzustellen, heissen Koordinaten. Wieviel Koordinaten braucht man zur Feststellung eines Punktes in einer Geraden, in einer Ebene, einer Kugeloberfläche, dem dreidimensionalen Raume? Warum unterscheidet man auf einer Geraden positiven und negativen Abstand vom Nullpunkt (je nach der Richtung)? Wieso wählt man in einer Ebene (Papier, Tafel) entweder rechtwinklig stehende oder schiefwinklige, stets denselben Winkel bildende geradlinige Koordinaten (Gradnetz)? Wieso hat man zwei durch den Nullpunkt gehende festliegende Geraden (Axen) nötig als Anfang? Man beschreibe genau durch drei rechtwinklig aufeinander stehende gerade Strecken (Koordinaten) die Lage irgend eines Punktes der Stube in

Digitized by Google

Bezug auf einen Anfangspunkt (z. B. Mitte des Fussbodens), zwei in einer Ebene (dem Fussboden) senkrecht aufeinander stehende Geraden (Axen) und eine im Nullpunkt (Mitte des Fussbodens) sich senkrecht auf jener Ebene (also nach oben) erhebende dritte Koordinatenaxe.

Man nenne wichtige Geraden und Ebenen in der Stube, auch solche, welche parallel zu einander liegen, und solche, die rechtwinklig auf einander stehen. Wieso wird eine Gerade auf sämtlichen durch den Fusspunkt in einer Ebene gezogenen Geraden senkrecht stehen, wenn sie auf zwei solchen senkrecht steht? Was heisst: Lot auf einer Ebene? Wieso schneiden sich zwei Ebenen in einer Geraden (Kante, mit Papier herstellen)? Können sich viele Ebenen in derselben Kante schneiden (Heft, Buch)? Man gebe den kleinsten Winkel an, den zwei durch einen Punkt der Schnittlinie zweier Ebenen (Rücken des Heftes) in je einer der Ebenen gezogene Geraden bilden können. Wieso ist es derjenige, den die beiden auf der Kante senkrecht in je einer Ebene stehenden Geraden bilden? (Neigungswinkel zweier Ebenen). Man halte einen Bleistift schräg über ein Blatt Papier und fälle von jedem Bleistiftende Lote (durch Fäden mit Kügelchen) auf die Ebene, verbinde dann die Fusspunkte (Projektion der durch den Bleistift markierten Geraden auf die Ebene). Man projiziere eine Linie der Tafel auf eine andere derselben Ebene, auch für den Fall, dass beide denselben Anfangspunkt haben. Man fixiere mit Hilfe zweier um ein Ende drehbaren Stäbe den Winkel zwischen je zwei Stellen der Stube.

Digitized by Google

Wie misst man den Abstand zweier parallelen Ebenen (Fussboden und Decke)? Wieso sind Lote zwischen parallelen Ebenen gleich gross (am Beispiel zweier gegenüberliegenden Wände zu zeigen, nachzumessen). Man halte zwei Stäbe beliebig in die Luft und sage, ob sich die dadurch vorgestellten Geraden, verlängert, schneiden oder nicht.

Wieso braucht man zur Ausmessung der Fläche Einteilung in gleiche Vierecke, wieso am bequemsten und natürlichsten in Quadrate? Wieso sind Würfel das bequemste Mass für Ausmessung des Raumes (Volumens)? Man messe den Inhalt der Tafel und der Stube aus.

Man sage, was durch Bewegung eines Punktes, einer Geraden, einer Ebene entstehen kann. Wie kann man eine Gerade um einen Punkt drehen? Wie kann man einen Kreis bewegen, wenn man einen Punkt festhält? Hält man zwei Punkte fest und bewegt die übrigen, so nennt man die geradlinige (kürzeste) Verbindung der Punkte die Drehungsaxe. Was beschreibt ein Kreis bei Drehung um einen Durchmesser? Was ein Dreieck bei Drehung um eine Winkelhalbierende? Was ist ein Kreiscylinder, wie entsteht er durch Drehung? Verbindet man einen Punkt mit sämtlichen Punkten irgend einer krummen Linie, so entstehe ein Kegel. Was ist ein Kreiskegel? Man schneide aus Rüben Kegel und durchschneide diese dann mit einem Messer (also in Ebenen), was für Schnitte entstehen?

Man stelle durch Zusammenknüpfen der beiden Enden einen Faden ohne Ende her, bohre zwei Reissnägel in die Tafel (Tisch), schlinge den Faden darum,

Digitized by Google

so, dass er noch Spielraum hat, mache durch einen spitzen, auf die Tafel gedrückten Kreidestift (Bleistift) den Faden straff und zeichne eine Kurve so, dass der Faden straff bleibt: sie heisst Ellipse, die festen Punkte die Brennpunkte, der Abstand derselben die doppelte Excentricität, die verlängerte Verbindung, die grosse Axe, die darauf im Mittelpunkte errichtete Senkrechte, die kleine Axe. Wie muss man einen Kreiscylinder, einen Kreiskegel schneiden, damit eine Ellipse entsteht? Man zeichne auf eine Kugel (Holz) Kreise verschiedener Grösse. Welchen Punkt haben die unendlich vielen grössten, unter sich gleichen Kreise als gemeinsamen Mittelpunkt? Wieso sind alle die Kreise, deren Mittelpunkte einen Durchmesser (Axe) bilden, untereinander parallel (Parallelkreise)? Welcher ist von ihnen der grösste, welche die kleinsten? (Sie mögen heissen Aequator und Pole beziehlich jener Axe). Was ist eine Tangente oder Berührende eines Kreises, einer Kugel? Wie steht sie zum Radius? Wie muss man eine Kugeltangente drehen, damit sie eine die Kugel berührende Ebene (Tangentialebene) beschreibt? Man lege von einem äusseren Punkte alle Tangenten an eine Kugel, welche Fläche beschreiben sie? Wieso kann man die Lage jedes Kugelpunktes bestimmen, wenn man einen grössten Kreis als Anfangskreis wählt und ferner einen senkrecht dazu stehenden, durch die Pole jenes Kreises gehenden grössten Kreis? Man bedecke eine Kugel mit Aequator und Parallelkreisen, ausserdem mit einer Anzahl von Polkreisen. Wieviel Ebenen kann man durch den Mittelpunkt und gleichzeitig die beiden Endpunkte

Digitized by Google

eines und desselben Durchmessers (Axe) legen? Wieviel Kreise kann man durch einen Punkt auf der Kugelfläche legen? Wieviel grösste? Wieso muss man sämtliche Linien auf einer Kugel durch eine Anzahl von Gradbogen ausdrücken (verbinde die Endpunkte mit dem Kugelmittelpunkte)? Man zeichne eine Schar von Parallelkreisen an die Tafel perspektivisch, so dass sie wie Ellipsen erscheinen. Man zeichne dazu eine zweite Schar von Parallelkreisen, die eine andere Kugelaxe haben. Was heisst es: ein Kegel berührt eine Kugel (schmiegt sich möglichst an, in welcher Linie)? In welchem Kreise berührt der Kegel, wenn die Spitze desselben unendlich fern liegt? Wieso darf man annehmen, dass die von einem sehr fernen Körper ankommenden Strahlen untereinander parallel sind?

Man befestige im Kreismittelpunkte eines halbkreisförmigen Brettes eine auf dieser Ebene senkrechte Holzaxe und lege den Halbkreis schräg so an ein Blatt Papier, dass die Durchmesserkante auf das Papier fällt; jetzt drehe man den Halbkreis um den Mittelpunkt der Durchmesserkante, so dass diese Kante stets das Papier berührt und der Halbkreis immer dieselbe Schiefe (Winkel) zum Papiere hat; was beschreibt das Ende der Axe? Was beschreibt die Axe um eine auf dem Papier im selben Fusspunkte senkrecht stehende Axe?

Alle vorstehenden Uebungen mit Kugel und Kegel sind zu zeichnen und zwar von verschiedenen Seiten aus, am besten nach Modellen (Glaskugel, durchbohrt, Holzkugel, Stäbe, gefaltetes und gebogenes Papier).

Digitized by Google

2. Die Gestalt der Erdoberfläche.

Die mathematische Geographie behandelt die Erde und ihre Beziehungen zur übrigen Welt, soweit wir dieselben mathematisch, d. h. durch räumliche Vorstellungen und entsprechende Zahlengrössen beschreiben können.

Wie bei unserer geometrischen Einleitung beginnen wir mit unserem eigenen Orte, also genauer, da wir den Raum hauptsächlich durch Sehen kennen lernen, mit dem Sehmittelpunkt eines beobachtenden Auges. Alles, was wir von irdischen Dingen erblicken können, wenn nach diesem Sehmittelpunkt (bei entsprechender Drehung des Körpers) Lichtstrahlen von allen Seiten gelangen können, heisse Gesichtsfeld. Dasselbe erscheint gewöhnlich wie eine beschränkte, unregelmässige Fläche. Da uns die einzelnen Gegenstände bei der Ermittelung der Erde und ihrer Beziehungen zur Welt nicht sonderlich beschäftigen, so suchen wir ein freieres Gesichtsfeld zu erlangen, indem wir uns auf ein möglichst ebenes, grosses Feld oder noch besser auf eine landlose Wasserfläche begeben, wenn nicht wirklich, so doch im Geiste. Zunächst fällt auf, dass die Oberfläche der Erde, also hier der Wasserspiegel, abgesehen von den Wellen, glatt erscheint und durch eine eigentümliche Linie in der Ferne begrenzt wird. Zwar hat es grosse Schwierigkeiten beides mathematisch genau zu prüfen, aber wir können doch unter Beobachtung der nötigen Vorsicht im Ausdrucke das Resultat dieser Anschauung vorläufig feststellen.

Thatsache. Die Oberfläche des ruhenden Wassers scheint eine mathematische Ebene zu sein, die

Digitized by Google

äussersten Punkte des Gesichtsfeldes bilden eine fast kreisartige, zusammenhängende Linie.

Stehen wir freilich am Strande oder sitzen in einem Boote, so kommt es uns bisweilen vor, als stiege die Wasserfläche bergan; betrachten wir sehr entfernte, von uns fortfahrende Schiffe, so scheinen sie auch wohl hinab zu gleiten.

Folgerung. Die Oberfläche der Erde, abgesehen von den unregelmässigen Erhebungen der Wellen und Berge, scheint eine Krümmung zu besitzen, die aber innerhalb unseres Gesichtsfeldes nicht sehr von der Ebene abweicht.

Wenn wir uns niedersetzen, so verändert sich das Gesichtsfeld, wenn wir uns seitlich von unserer Stelle fortbewegen, ebenfalls, aber in anderer Weise. Diejenige Bewegung, bei welcher sich der Begrenzungskreis erweitert oder verengert, ist leicht exakt festzustellen, nämlich durch die Richtung eines unten beschwerten Fadens, eines Pendels. Die Richtung eines ruhenden Pendels heisst vertikal (vom Worte für Scheitel), auch lotrecht.

Thatsache. Lassen wir ein Lot aus der Luft in das Wasser hineinhangen, so bildet es mit jeder durch seinen Schnittpunkt auf der Wasseroberfläche gelegten Geraden (oder genauer, falls die Wasseroberfläche wirklich ein wenig gekrümmt ist, mit jeder daselbst an die Wasserfläche gelegten Tangente) einen rechten Winkel, steht mithin senkrecht auf ihr.

Die Richtung einer jeden solchen Geraden nennt man horizontal oder wagerecht. Giessen wir in eine u-förmig gekrümmte Glasröhre Wasser, so stellt

Digitized by Google

es sich in beiden Schenkeln gleich hoch. Blicken wir durch die Mitten beider in den Schenkeln sich zeigenden Wasseroberflächen auf einmal, so scheint diese gerade Linie nahezu nach der kreisartigen Gesichtsgrenze hin zu laufen. Wenn unser Auge bis in die Oberfläche des ruhenden Wassers hinuntertaucht, so sind schliesslich die Wasserteile, die wir überblicken, unendlich nahe an einander gerückt, die wagerechte Linie wird zur Tangente und der Gesichtskreis wird geradezu unendlich klein. Wir müssen also für die uns sichtbaren äussersten Punkte des Gesichtsfeldes einen Namen

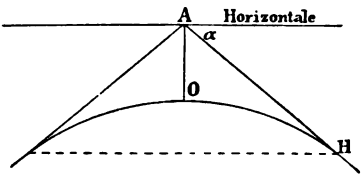


Fig. 1.

wählen, der andeutet, dass wir damit eine sehr veränderliche Grenze meinen, nämlich je nachdem wir einen grossen Teil oder nur einen kleinen der uns umgebenden „Natur“ überschauen. Man nennt die Gesamtheit aller Punkte, welche die Grenze des irdischen Gesichtsfeldes bilden, den natürlichen Horizont. Legt man durch das Auge eine zur Vertikalen senkrechte Ebene (die also unendlich viele Horizontalen enthält, d. h. eine Horizontalebene) und denkt sich in ihr in ausserordentlicher, aber sonst beliebiger Ferne (etwa zwischen den „Sternen“) eine Kreislinie um das Auge als Mittelpunkt beschrieben, so heisse

Digitized by Google

diese der astronomische Horizont. Die Gesichtsweite, d. h. die Länge der von unserem Auge nach einem Punkte des natürlichen Horizontes gezogenen Geraden, einer Gesichtslinie, wird durch einen Winkel mitbestimmt, den diese Gerade mit der Horizontalebene bildet, die sogenannte Kimmung, $\sphericalangle \alpha$ in Figur 1.

Uebungen 1.

1. Woher mag es stammen, dass wir sagen: „auf" das Meer fahren? Auch im Griechischen gebraucht man dafür die Präposition hinauf, beim Worte für landen aber „hinab". 2. Wenn wir uns vertikal von unten nach oben bewegen, in welcher Weise ändert sich dann der natürliche Horizont, welche Lage haben diese scheinbaren Kreise zu einander? 3. Welche Lage haben sie, wenn wir unseren Ort seitlich wechseln (man spreche von den Ebenen, in denen die Kreise liegen, und den Richtungen derselben!)? 4. Wie stellt man fest, ob eine Tischplatte genau horizontal liegt? 5. Wieso bildet die Gesichtsweite mit der durch das Auge gelegten und allen Horizontalebenen, die senkrecht zur betreffenden Vertikalen liegen, denselben Winkel? 6. Warum heisst die Kimmung auch Kimmtiefe? 7. Woher mag der Name „astronomischer" Horizont stammen? 8. Was hat er mit der Horizontalebene zu thun? [9. Wieso darf man die Schenkel der U-Röhre, d. h. der sogenannten Wasserwage, nicht zu eng wählen? Welche Gestalt zeigt die Wasseroberfläche in einem Glasröhrchen ungefähr? 10. Wieso wird ein in einem liegenden Tönnchen ähnliches Gefäss, das eine Luftblase in Aether enthält, die

Digitized by Google

„Libelle", ein vollkommenes Instrument zur Bestimmung der Horizontalebene sein? (Man braucht dieselbe zu den allerfeinsten Bestimmungen). 11. Auch wenn man nicht weiss, dass der nat. Hor. ein Kreis ist, so kann man ihn doch wieso als die Berührung eines vom Auge als Spitze ausgehenden Kegels mit der krummen Erdoberfläche auffassen?]

Betrachten wir genau, falls nötig, durch ein Fernrohr, wie uns die aus der Ferne kommenden Schiffe erscheinen, so bemerken wir, dass zuerst die Masten, zuletzt die unteren Teile sichtbar werden. Man hat beobachtet, dass ein Gegenstand, klare Luft vorausgesetzt, noch sichtbar sein kann, wenn die von seinen äussersten Enden nach dem Auge gezogenen geraden Linien einen Winkel von mindestens einer halben Bogenminute bilden. Ein Berg von 4000 m Höhe würde danach noch bequem in einer Entfernung von 400 Meilen sichtbar sein müssen unter sonst günstigen Umständen, ist aber in dieser Entfernung vollkommen unter dem Horizonte verschwunden. Auch daraus folgt, dass die Erdoberfläche gekrümmt ist.

Um über einen grösseren Teil der Erdoberfläche unterrichtet zu werden, müssen wir uns auf Reisen begeben.

Thatsache. An allen von Menschen bisher erreichten Punkten der Erde erschien der Horizont kreisartig. Dies ist nicht bei einem Körper mit Ecken möglich.

Folgerung. Die ganze bekannte Oberfläche der Erde kommt einer Kugelfläche sehr nahe.

Denselben Schluss dürfte man nur dann gelten

Digitized by Google

lassen für die ganze Erde, wenn es gelingt, in verschiedenen Richtungen um dieselbe herumzureisen. Wahrscheinlich schon die Gelehrten unter den alten Aegyptern und Aristoteles nahmen die Kugelgestalt der Erde an, Kolumbus strebte danach, um sie herum nach Indien zu kommen, das Geschwader des in spanischen Diensten stehenden Portugiesen Magelhaen führte 1519 bis 1522 die erste Weltumseglung aus; er selbst wurde 1521, also vor Erreichung des Zieles, auf einer Philippineninsel erschlagen.

Noch andere Beweise hat man für die kugelähnliche Gestalt der Erde angegeben, indessen muss man z. B. zur Beurteilung des Auftauchens und Verschwindens der Sternbilder oder der Sonne erst mit diesen näher vertraut sein, darum begnügen wir uns vorläufig mit dem Vorhergehenden. Die genauesten Beobachtungen und Messungen haben nicht zu dem Resultate geführt, sie sei genau eine Kugel, vielmehr zu anderen, uns später verständlichen Folgerungen.

Uebungen 2.

1. Warum kann die Ansicht der alten Völker nicht richtig sein, die Erde sei eine begrenzte flache Schüssel? 2. Was bedeutet für uns oben und unten? Wo haben unsere Antipoden Kopf und Füsse? Und in welchen Richtungen zu unserer Haltung liegt die Fuss-Scheitellinie anderer auf der Reise zwischen uns und den Antipoden anzutreffender Erdbewohner? 3. Wohin etwa (!) scheint eine sogenannte anziehende Kraft der Erde alle Gegenstände ziehen zu wollen?

[4. Nehmen wir an, das Auge könnte einen unter

Digitized by Google

einem Gesichtswinkel von 1′ erscheinenden Gegenstand noch gut erkennen, wie oft wäre dann seine Länge in einen durch ihn um unser Auge gelegten Kreise enthalten, und wie oft in seiner Entfernung von unserem Auge? Wieso würde man einen Berg von 4800 m ohne Erdkrümmung etwa 17tausend Kilom. weit sehen müssen? 5. Unter welchem Gesichtswinkel erschiene ein Berg von 4000 Meter Höhe in einer Entfernung von 500 Meilen? 6. Wie weit müsste man den Brocken sehen können, falls die Erde nicht gekrümmt wäre? (Man sieht ihn mit den besten Hilfsmitteln in Wirklichkeit nur etwa 130 Kilom. weit.) 7. Was für eine Gestalt haben frei schwebende Wassertropfen, ferner die uns nicht bloss als helle Punkte erscheinenden Himmelskörper etwa? Darf man daraus ohne weiteres auf die Gestalt des Erde schliessen?]

3. Die Auffindung bestimmter Richtungen.

Um Weltreisen zu unternehmen und nicht minder zur genauen Orientierung in einer auch beschränkten Gegend, z. B. in einem Walde, muss man imstande sein, bestimmte Richtungen immer wieder genau zu finden. In einer gleichförmigen Umgebung täuschen wir uns leicht, z. B. im Walde oder auf dem Wasser. Darum wenden wir unsere Blicke hilfesuchend nach etwas Festem, Regelmässigen und suchen entweder ein Instrument zu benutzen, das die Eigenschaft hat, immer eine gewisse Richtung von selbst zu zeigen, oder wir versuchen dort, wo eine grosse Regelmässigkeit herrscht, am Himmel, durch Sterne und Sonne, Regeln zu finden.

Die Magnetnadel scheint jene Eigenschaft in auf-

Digitized by Google

fälligem Masse zu besitzen, obgleich sie durch Eisen leicht abgelenkt wird. Schon die alten Chinesen sollen sie benutzt haben, und noch heute ist sie eins der wichtigsten Mittel. Aber schon Kolumbus bemerkte, dass sie, auch ohne Störung durch Eisen oder Gewitter, auf dem Wege nach Westen über den Ocean nicht mehr in der alten Weise genau zeigt, d. h. dass sie nicht mehr die gleiche Abweichung von der Himmelsgegend hat, die wir Norden nennen, wie bei uns. Auch kennt man noch verschiedene Aenderungen der Nadel. Woher hat Kolumbus das wissen können? Man pflegt im gewöhnlichen Leben die Wörter „Süden" und „Mittag" in ähnlicher Weise zu benutzen. Mittag richtet sich nach der Sonne. Die Sonne zeigt zwar sehr verschiedene Stellungen je nach Tages- und Jahreszeit, aber die Menschen haben seit Urzeiten bemerkt die folgende **Thatsache**. Die Sonne teilt in ihrer höchsten Stellung am Himmel, d. h. wenn sie den kleinsten Schatten wirft, den Tag und ihre Tagesbahn in Hälften; der Augenblick, in welchem der Mittelpunkt der Sonne diese höchste Stellung erreicht, heisst Mittag (12 Uhr mittags).

Es fragt sich, ob uns dies eine bestimmte Richtung liefert und wie. Erfahrungsgemäss steht die Sonne mittags (in verschiedenen Jahreszeiten) verschieden hoch, also ist die Gesichtslinie nach ihrem Mittelpunkte im Mittage nicht immer dieselbe. Aber eine auf der Erde hin nach einem Punkte unterhalb der Mittagssonne gezogene Linie würde täglich dieselbe sein können und auch den Vorzug haben, uns zum Wegweiser beim Fortbewegen auf der Erde unmittelbar zu

Digitized by Google

dienen. Eine Vertikale von der Sonne aus lässt sich nicht praktisch fällen. Richten wir indessen einen dünnen Stab oder ein Fernrohr auf die Sonne und lassen von einem Punkte P seiner Mittelaxe ein Pendel herabhangen, so ergibt dasselbe auf der durch das Auge gelegten Horizontalebene einen Punkt F (Figur 2). Blicken wir nun in der Richtung AF, so haben wir den gewünschten festen Wegweiser auf der Horizontalebene, die wir stets durch Drehung einer Wasserwage oder durch Wagerechtstellen einer festen Platte mittelst der Libelle herstellen können.

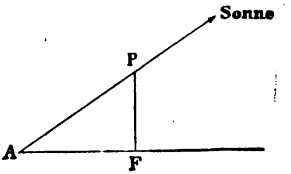


Fig. 2.

Wir müssen indessen verstehen, genau die Zeit festzustellen, in der die Sonne den höchsten Punkt erreicht. Dies erscheint sehr schwer, da die Sonne einen flachen Bogen beschreibt, also zur Mittagsstunde immer ziemlich dieselbe Höhe zu haben scheint, unsere Uhren aber nur durch Beobachtung des Himmels geprüft und gestellt werden, auch das Abweichen der Kompassnadel nicht anders zu beurteilen ist. Wieder kommt uns eine Thatsache zu Hilfe.

Thatsache. Beobachtet man die Sonne im gleichen Abstande von dem Aufgange im Horizonte und von dem Untergange, so erscheint sie immer in der-

Digitized by Google

selben Höhe. Die Höhe ist leicht zu messen durch zwei Stäbe, die in einem Endpunkte, dem Winkelpunkte, drehbar verbunden sind und deren einen man mittelst der Wasserwage horizontal richtet, während der andere (besser ersetzt durch ein Fernrohr mit Kreuz von Spinnewebenfäden) nach dem Sonnenmittelpunkte gerichtet wird, derart, dass ein Pendelfaden beide Stäbe zugleich berührt, (sie also in einer Vertikalebene liegen). Dreht man einen derartigen Höhenmesser PAF um A, so dass stets PF eine Vertikale bleibt und AF eine Horizontale, so kann man die Stellungen durch fortwährendes Hinschauen in der Richtung AP finden, in denen ein Gestirn dieselbe Höhe hat.

Wäre PF ein Stab, so würde FA den Schatten desselben darstellen. Man könnte demnach bei einem bestimmten Winkel PAF im Laufe des Tages zwei Schatten gleicher Länge finden und auf einem horizontalen Blatte Papier aufzeichnen; ebenso beliebig viele andere gleichlange Schatten bei anderen Winkeln.

Folgerung. Wenn man den Winkel, welchen zwei gleich lange Schatten eines dünnen feststehenden vertikalen Stabes auf einer Horizontalebene (Sonnenuhr) miteinander bilden, durch Zirkel und Lineal halbiert, so erhält man die Richtung nach einem gerade unterhalb der Mittagssonne gelegenen Punkte irgend welcher Entfernung. Am bequemsten ist es von dem Punkte zu sprechen, welcher in dieser Richtung auf dem astronomischen Horizonte liegt. Jene Richtung heisst die Nordsüdlinie des betreffenden Ortes (Fusspunkt des schattengebenden Stabes), jener Punkt

Digitized by Google

auf dem astronomischen Horizonte heisst der Südpunkt, der von ihm um 180° entfernte der Nordpunkt, die um 90° nach Sonnenaufgang oder -Untergang zu entfernten der Ost- und Westpunkt; blicken wir in jener Richtung, so sagen wir: wir blicken nach Süden bez. Norden.

Leider ist der Schatten, den die Sonne bewirkt, nicht scharf begrenzt, namentlich nicht morgens und abends, wo wir doch am besten die sämtlichen Schattenenden markieren werden, auch ist es nicht leicht, ohne weiteres genau den Sonnenmittelpunkt zu beobachten. Darum verwendet man die Sonnenuhr nicht zur genauen Feststellung und benutzt lieber die Stellung irgend eines Sternes (Fixsternes), der uns auch im besten Fernrohre stets wie ein Punkt erscheint. Wir benutzen dazu die folgende Thatsache. Auch die Fixsterne beschreiben am Himmel Bogen in so gleichmässiger Art, dass sie Stellungen gleicher Höhe in gleichen Abständen von ihrer höchsten Stellung erreichen.

Feststellung der NS Linie eines Ortes. Man drehe den durch Libelle und Lot passend in Ordnung gehaltenen, mit Fernrohr versehenen und auf irgend einen spitzen Winkel gestellten Höhenmesser um eine durch den Winkelpunkt gehende Vertikalaxe, zeichne die Horizontallinien auf, welche der Apparat in beiden Augenblicken angibt, wo dasselbe Gestirn am mittleren, von oben nach unten gehenden Spinnewebenfaden erscheint, und halbiere den von ihnen gebildeten Winkel. Stellt man ein Fernrohr so auf, dass es sich nur um eine genau von O nach W gehende Queraxe auf und nieder in der Meridianebene drehen kann, so

Digitized by Google

nennt man dasselbe das Meridianfernrohr (meridies, Mittag; auf allen Sternwarten, freilich durch zahlreiche Vorrichtungen verbessert, vorhanden und dort Meridiankreis genannt). Alle Gestirne, die im Faden desselben erscheinen, stehen gerade dann in ihrem höchsten (oder tiefsten) Punkte, sie kulminieren) (culmen, der Gipfel). Der Mittag eines Ortes tritt ein, wenn die Sonne kulminiert.

Uebungen 3.

1. Warum ist eine von der Sonne auf die Erde gefällte Vertikale nicht parallel zu einer bei uns gefällten? 2. Wieso kann man eine vom Auge und eine von irgend einem Punkte des beobachtenden Fernrohres gefällte Vertikale als parallel ansehen? Warum werden wir einen gewissen (welchen?) Punkt des astronomischen und nicht einen entsprechenden (welchen?) Punkt des natürlichen Horizontes den Südpunkt nennen? 4. Wie überzeugt man sich, ob ein Winkel in der Vertikalebene liegt? Wieviel Vertikalebenen gibt es für einen Ort? 5. Was ist die Meridianebene? Für Orte, die gegen einander in welcher Richtung liegen, ändert sie sich nicht? 6. Wie unterscheiden sich die Wörter „Süden“ und „Mittag“? Wie stellt man den einen und wie den anderen dieser Begriffe für einen Ort praktisch fest? 7. Was bedeutet es, wenn wir sagen, die Sonne stehe im Süden? 8. Wieso gibt der Höhenmesser nur Winkel, nicht aber die Höhe eines Ortes, zum Beispiel des Gipfels eines Berges, in einer Vertikallänge an? 9. Wo liegen die Punkte N, NgNW, NNW, NWgN, WNW, WgNW, W? Wie heissen die entsprechenden

Digitized by Google

Richtungen, rings herum gezählt? Wie stellt man eine Windrose z. B. für einen Kompass her? (Genaue Einteilung eines Kreises in Grade ist höchst schwierig). 10. Wird der äusserste Rand eines Schattens durch Strahlen vom unteren oder oberen Sonnenrande bewirkt? Woher kommt die Undeutlichkeit eines durch die Sonne bewirkten Schattens? 11. Man zeichne ungefähr richtig die Linie, welche alle Stabschattenenden bilden werden an einem Tage, an dem die Sonne gerade im Osten aufgeht! 12. Warum muss die OW-Axe eines astronomisch brauchbaren Meridianfernrohres sehr sorgfältig in zwei sehr festen Steinpfeilern ruhen und oft geprüft werden?

4. Die Beobachtung der täglichen Sternbewegung.

Bereits einmal lernten wir den Vorteil der Beobachtung von punktartig erscheinenden Sternen vor der einigen der Sonne kennen. Man bemerkt aber auch sehr bald, dass die Sonne nicht an allen Tagen dieselbe Mittagshöhe erreicht, z. B. bei uns im sog. Sommer höher steht als im Winter. Aber für denselben Ort kulminiert ein und derselbe Stern fast ganz genau immer wieder in derselben Höhe, was man leicht durch den Höhenmesser feststellen kann. Freilich müssen wir ebenso wie die Sonne die Wandelsterne (Planeten), die Schweifsterne (Kometen) und Monde (Trabanten) ausschliessen. Wir stossen hier auf die folgende

Thatsache. Die allermeisten Gestirne erscheinen selbst in den besten Fernröhren punktförmig und ändern ihre Stellung unter einander in langen Zeiten kaum merklich ab, und zwar erscheinen die Stern-

Digitized by Google

bilder der Fixsterne von allen Orten der Erde aus in gleicher Form.

Folgerung. Die Fixsterne stehen in einer derartig grossen Entfernung von uns, dass daneben alle irdischen und selbst die Entfernungen der Sonne, Monde und Planeten verschwinden. Denn ständen zwei Sterne S und S_1 in Figur 3 nicht ausserordentlich fern von der Erde, so würden sie in einem Orte A unter anderem Winkel SAS_1 erscheinen als in einem anderen Orte B; in letzterem erschienen sie einander näher, wodurch die Form der Sternbilder verändert würde.

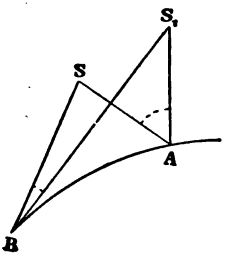


Fig. 3.

Der Himmel ist in nicht gleicher Weise von Sternen durchsetzt, sie häufen sich am meisten in der Nähe der sogenannten Milchstrasse, die Astronomen zählen sie, soweit sie einzeln erscheinen; an manchen Stellen sah man bisher nur nebelartige Gebilde. Um sie zu bezeichnen, hatte man schon im Altertume die einander nahestehenden durch gedachte Linien umzogen, denen man meist Götter- oder Tiergestalten verlieh. Diese Namen behielt man grossenteils bei, da die Stellungen seither sich wenig änderten. Der ganze Himmel er-

Digitized by Google

scheint uns sowohl nachts wie am Tage rund gewölbt und könnte uns überhaupt nur dann eckig erscheinen, wenn er wie ein Zimmer deutlich unterscheidbare, zusammenhängende Flächen zeigte. Da aber am Tage eine gleichmässige, nur durch Wolken unregelmässig durchsetzte Farbe und nachts viele einzelne Lichtstellen erscheinen, so kann unser nach allen Richtungen blickendes Auge uns nur den Eindruck einer Rundung vermitteln. Nicht alle Menschen glauben eine regelmässige Kugelfläche von innen her zu sehen, es hängt dies z. T. von der Beschaffenheit unseres Auges, z. T. von der Art der Lichterscheinungen ab. Eine Stelle, an der es viel zu sehen gibt, pflegt uns grösser zu erscheinen als eine dunkle, leere. Sässen wir in einer Glaskugel und befänden sich ausserhalb derselben in beliebigen Entfernungen helle Punkte, so würde jeder derselben auf dem Glase eine bestimmte Stelle einnehmen. Das Glaszimmer kann klein oder gross sein, dadurch werden die Sehwinkel, unter denen uns die hellen Punkte erscheinen, nicht verändert. Darum dürfen wir uns den Sternenhimmel wie eine mathematisch genaue Kugel vorstellen, in deren Fläche die Sterne haften oder durch deren Fläche doch wenigstens die nach unserem Auge gesandten Strahlen in bestimmten Punkten gehen; nur muss diese Himmelskugel so ausserordentlich viel grösser als die Erde vorgestellt werden, dass diese als ein Punkt dagegen aufzufassen ist. Der Mittelpunkt der **Himmelskugel** ist eigentlich unser Auge, die Horizontalebene halbiert dieselbe im astronomischen Horizonte. Wir werden uns indessen auch mit solchen Gestirnen befassen, die ihre Stellung zu den

Digitized by Google

anderen ändern, also nicht derartig fern stehen. Für diese dürfen wir die Erde nicht als einen Punkt auffassen, müssen vielmehr eine kleinere, beschränkte Himmels-Kugel annehmen, in deren Oberfläche das betrachtete Gestirn steht. Die Horizontalebene halbiert dieselbe, aber eine zu ihr parallel durch den Mittelpunkt der kugelig angenommenen Erde gelegte Ebene schneidet einen anderen Kreis aus ihr heraus. Folglich sind wir zu folgender Unterscheidung gezwungen.

Bei Betrachtung der Fixsterne sprechen wir nur von einem astronomischen Horizonte und können uns seine Ebene entweder durch unseren Sehmittelpunkt oder auch durch die Mitte der Erde parallel zu unserer Horizontalebene gelegt denken. Bei Betrachtung von Gestirnen messbarer Nähe nennen wir den Schnitt der Horizontalebene mit der durch das Gestirn gelegten Himmelskugel den scheinbaren astronomischen Horizont, den Schnitt der zu jener im Erdmittelpunkt parallel gelegten Ebene den wahren astronomischen Horizont. Was wir unter Erdmittelpunkt verstehen müssen, falls die Erde nicht eine genaue Kugel sein sollte, dazu werden wir bald durch genauere Betrachtung der Erdoberfläche gelangen. Hierbei muss uns die Beobachtung der Sterne von unserem Standort aus dienen.

Die Vertikale unseres Standortes schneidet, genügend verlängert, die Himmelskugel in zwei Punkten, welche von allen Punkten des Horizontes um den vierten Teil eines grössten Himmelskreises, also um 90° entfernt sind. Der über unserem Haupte liegende heisst das Zenit (arabisch Scheitelpunkt), der unter unseren Füssen

Digitized by Google

liegende das Nadir. Der durch Zenit, Süd- und Nordpunkt gehende, vorgestellte Kreis heisst der Himmelsmeridian (für den betreffenden Ort), er liegt in der Meridianebene.

Folgerung. Verbindet man in der Vorstellung (oder durch ein passend gedrehtes Fernrohr) irgend einen Stern zu irgend einer Zeit mit dem Zenit durch einen grössten Himmelskreis, so liegt der letztere in einer Vertikalebene und steht senkrecht auf dem Horizonte.

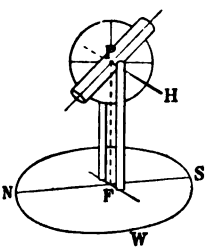


Fig. 4.

Das zwischen dem Fusspunkte (Schnitt mit dem Horizonte) und dem Sternort liegende Kreisstück, in Bogengraden (Minuten etc.) angegeben und vom Horizonte aus gerechnet, heisst Höhe des Sternes. Das Stück des Horizontes vom Südpunkte bis zu dem Fusspunkte der Sternenhöhe heisst das Azimut des Sternes und ist ein Winkel gerechnet vom Südpunkt östlich oder westlich bis 180°.

Jeder Punkt des Himmels ist genau bestimmt und auffindbar durch die Angabe seiner Höhe und seines Azimutes, also durch zwei Koordinaten in dem von Horizont und Zenit-Nadirlinie bestimmten Kugel-

Digitized by Google

systeme. Ein Instrument, welches durch derartige Koordinaten die Sternstellung misst, ist der Theodolit (Figur 4); auf den Sternwarten sind vielfach Fernrohre nach demselben Systeme, also drehbar um eine vertikale und horizontale Axe, aufgestellt (genannt auch Altazimut d. i. Höhenazimutinstrument). Es gehört dazu, ausser verbessernden und kontrollierenden Nebenapparaten, ein Horizontalkreis SWN mit guter Einteilung in Winkel, eine Vertikalaxe, um die sich ein Gestell dreht, welches in zwei horizontalen Stützlagern eine horizontale Axe trägt, und ein Fernrohr nebst Höhenkreis zur Ablesung der Höhen. Zur Aufstellung eines Meridianfernrohres braucht das Gestell, also Stützlager, nicht beweglich zu sein und ist sehr fest aus Stein gebaut.

Thatsache. Beobachtet man während genügend langer Zeit mit dem Theodoliten fortwährend einen Stern, so dass er stets in der Mitte des Gesichtsfeldes (Fadenkreuz) erscheint, so ergibt sich, dass jeder Punkt des Fernrohres mit Ausnahme des unbeweglichen Drehpunktes (Schnitt P der beiden Axen) einen Kreis beschreibt.

Folgerung. Jeder Fixstern beschreibt nahezu genau immer denselben Kreis am Himmel.

Thatsache. Alle von den Sternen beschriebenen Kreise sind parallel zu einander und heissen darum Parallelkreise. Halbiert man den Winkel zwischen dem höchsten und tiefsten Punkte einer Sternbahn, der oberen und unteren Kulmination, also die Differenz ihrer Höhen, so ergibt sich stets derselbe Punkt am Himmel, genannt der Himmelspol oder Pol. Richtet

Digitized by Google

man das Fernrohr nach ihm, so sieht man, dass in der Nähe desselben die Sterne nur ganz kleine Bahnen beschreiben. Am nächsten steht zu unseren Zeiten der sogen. Polarstern oder α des kleinen Bären, er hat von jenem Punkte einen Abstand von etwa 1 und $^1/_2$ Grad. Er liegt von uns aus gesehen am nördlichen Sternenhimmel und geht wie viele andere Sterne (die Circumpolarsterne) für uns nie unter. Suchen wir den Mittelpunkt desjenigen Kreises, wovon das Fernrohr einen Teil beschreibt, wenn wir es auf einen südlichen, auf- und untergehenden Stern richten, und richten nach ihm das Fernrohr, so weist es auf einen uns nicht sichtbaren, ruhenden Punkt des südlichen Himmels. Wir müssen demnach diesen von jenem unterscheiden durch die Namen Südpol und Nordpol des Himmels. Zwischen beiden Polen, von beiden um 90° entfernt, befinden sich alle diejenigen Punkte der Himmelskugel, die den grössten Parallelkreis beschreiben.

Folgerung. Der Mittelpunkt des grössten Parallelkreises (Himmelsäquator oder Gleicher) ist unser Sehmittelpunkt, und halbiert die Verbindungslinie von Nord- und Südpol, die sogenannte Weltaxe. Denken wir uns einen unendlich dünnen Stab durch unser Auge nach den Polen gelegt, so liegen auf ihm sämtliche Mittelpunkte aller Sternbahnen, und es dreht sich die ganze Himmelskugel um ihn in gleichmässiger Weise von O aufwärts nach W. Die Zeit, während welcher eine Umdrehung vor sich geht, als gerechnet von der Kulmination eines Sternes bis zu seiner nächsten Kulmination, heisst ein Sterntag und wird eingeteilt in 24 Stunden (h, hora, lat.)

Digitized by Google

Sternzeit, jede Stunde gerechnet zu 60 Minuten (m), jede Minute zu 60 Zeitsekunden (s) Sternzeit.

Uebungen 4.

1. Was sind Sternbilder? 2. Warum liegt der Himmelsmeridian in der Meridianebene? (Die Antwort richtet sich nach der Definition der Begriffe.) 3. Wie muss man ein Fernrohr bewegen, damit man damit den Himmelsmeridian bestreicht? 4. Was ist die Himmelskugel? 5. Wieso hat jede Person eigentlich eine besondere Himmelskugel für sich, wieso darf man aber doch von einer (!) Himmelskugel reden? 6. Wieso ist es nötig, bei Himmelskugel von Mittelpunkt und von der zwar nicht bestimmten Grösse des Radius, aber doch davon zu sprechen, dass neben ihm die irdischen Entfernungen verschwindend klein sein müssen? 7. Wieso können wir uns den astronomischen Horizont und seine Beziehungen zur Himmelskugel einfacher darstellen, falls wir wissen, dass die Sterne ausserordentlich weit stehen? Wann ist diese einfache Darstellung nicht mehr möglich? 8. Was ist der nördliche Himmelspol, wie hoch erscheint er für einen Ort, wenn daselbst ein Stern bei 90° und 50° kulminiert? Wie weisen wir mit dem Arme nach dem südlichen? 9. Was ist der Himmelsäquator? 10. Wieso geht die NS Linie genau durch den Sehmittelpunkt? 11. Wieso gibt es nur einen Nordpol, einen Aequator, auch für mehrere Personen und verschiedene Gegenden der Erde? Welches Koordinatensystem ist allgemeiner gültig, das Horizont-Zenit- oder das Pol-Aequator-System? 12. Welche Stellen der Weltaxe sind für unsere Hand er-

Digitized by Google

reichbar? 13. Darf man sich in Gedanken nach einem Punkte ausserhalb der Himmelskugel versetzen? Eine solche Kugel aus Glas müsste wo und in welcher Grösse die Erde zeigen und wie zur Rotation gebracht werden? 14. Zeichne auf Papier die Himmelskugel mit Polen, Aequator und mehreren anderen Parallelkreisen! 15. Was bedeutet eine Sternstunde? 16. Gibt es Sterne, die uns von Berlin aus nie sichtbar sind? Gibt es solche, welche hier nur für eine sehr kurze Zeit verschwinden, falls man annimmt, man könnte sie auch bei Tage sehen? Ist es möglich, dass ein Stern den Horizont berührt und dann wieder verlässt, ohne unterzugehen? 17. Was heisst Aufgang und Untergang? [18. Von welchen Punkten aus erscheint der Abstand zweier Punkte S und S_1 (Figur 3) unter einem rechten Winkel? Man zeichne den geometrischen Ort, für den jener unter 30° erscheint; ferner die geometrischen Oerter für 120, 90, 45, 30, 15° an einer Figur! 19. Wieso gibt es meist zwei Punkte auf der Linie BA oder deren Fortsetzung, wo SS_1 unter demselben Winkel erscheint? Warum ist der Winkel für weit abliegende Orte klein, wann ist er am grössten? 20. Sind S und S_1 sehr weit entfernt, wieso schneiden dann nur solche Kreise die Linie AB, deren zu SS_1 gehörige Umfangswinkel sich sehr wenig unterscheiden? 21. Man nenne optische Täuschungen, bei denen gleich grosse Flächen verschieden erscheinen, und andere Irrtümer unseres Gesichtssinnes!]

Digitized by Google

5. Der nördliche Sternenhimmel und das Aequator-Pol-System.

Es wird für uns wichtig sein, von der ungeheuren Anzahl von Sternen wenigstens einige am Himmel leicht finden zu können und künftig durch die Erinnerung an dieselben uns an gewissen Stellen des Nachthimmels zurechtzufinden. Auffällig ist der grosse Bär oder der Wagen Figur 5. Der Stern δ desselben liegt da, wo die Deichsel an das Wagenviereck anstösst; geht man von der Deichsel auf den Wagen los,

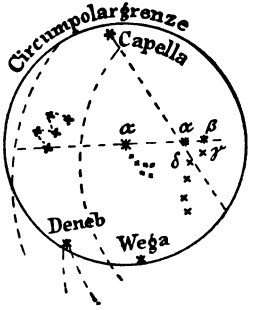


Fig. 5.

so durchschneidet man ihn und trifft auf β. Denkt man die Entfernung $\beta\alpha$ über α hinaus verfünffacht, so trifft man ungefähr auf den Polarstern, und setzt man diese Gerade bis in die Milchstrasse fort, so gelangt man zur Cassiopeia (Gestalt eines grossen W), die noch zu den Circumpolarsternen gehört. Von δ über α gelangt man zur Capella im Fuhrmann und etwa nach dem Aldebaran im Stier, der nicht stets sichtbar ist, von α über δ nach dem Arkturus im Bootes. Von

Digitized by Google

anderen Sternen sind noch sehr auffällig am nördlichen Sternenhimmel Deneb im Schwan, da wo sich die Milchstrasse gabelt, nicht sehr weit davon neben einem Arme der Milchstrasse Wega in der Leier.

Für Berlin erscheint der Nordpol unter einer Höhe PNo (Figur 6) von 52 und $^1/_2$°, hat also einen Zenitabstand von $37^1/_2$°. Verbindet man zwei Stäbe unter

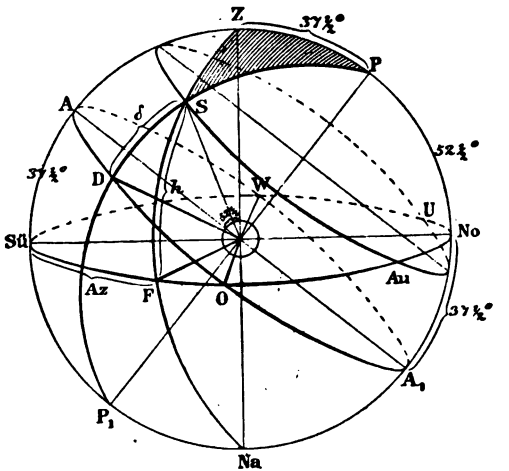


Fig. 6.

einem rechten Winkel und richtet den einen nach dem nördlichen Himmelspol, so zeigt der andere nach einem Punkte des Himmelsäquators. Dreht man die Vorrichtung nun um die Weltaxe, d. h. um den einen Stab, so bestreicht der andere den Himmelsäquator. Hält man in seine Richtungen ein Fernrohr, so er-

Digitized by Google

blickt man in demselben die im Aequator stehenden Sterne. Der Aequatorkreis $A A_1$ geht durch den Ost- und Westpunkt O W. Indessen geht ein im Aequator liegender Stern nicht ganz genau in jenen Punkten auf. Da nämlich die Erde von einer Atmosphäre umgeben ist und die Luft wie alle Stoffe die Eigenschaft besitzt, Strahlen, welche nicht gerade senkrecht auf die Oberfläche fallen, von ihrem Wege abzulenken und zwar mehr nach dem im Einfallspunkte nach innen (d. h. der Luftschicht zu) errichteten Lote zuzuneigen, so stehen alle nicht gerade vom Zenit her scheinenden Sterne etwas tiefer als sie erscheinen. Wenn also ein Stern im Horizonte erscheint, so befindet er sich in Wahrheit noch unter demselben, oder es erscheint z. B. ein Aequatorstern bereits, während er sich noch auf dem Bogen $A_1 0$ nahe bei 0 befindet. Darum erblicken wir ihn und ebenso die Sonne, wenn sie im Aequator steht, wie dies vorkommt, etwas länger als 12 Sternstunden.

Ein beliebiger Stern S beschreibt den Parallelkreis S Au U; man nennt den Bogen Au S U den Tagesbogen, den anderen unter dem Horizonte liegenden den Nachtbogen (weil die Sonne hiernach Nacht und Tag angibt). Die Bogen Au 0 und U W auf dem Horizonte heissen Morgen- und Abendweite des Sternes für den betreffenden Ort. S F und F Sü ist die Höhe und das Azimut von S.

Nach dem Pol-Aequatorsystem müsste man die Stellung von S durch einen vom Pol P aus durch S gelegten grössten Kreis und den Aequator festsetzen. Man nennt den Winkel D S, gemessen vom Aequator

Digitized by Google

auf dem Stern-Polkreise (dem Deklinationskreise) bis zum Sterne die Deklination, das in D daranstossende Kreisstück DA des Aequators, gemessen von A, dem höchsten Punkte des Aequators (Schnitt mit dem Meridiane ZASü) über Westen W gezählt den Stundenwinkel des Sternes. Bei der Lage von S in der Figur ist derselbe über 270° gröss. Man zählt nämlich die Stunden von der Zeit her, wo das Gestirn kulminiert. Erreicht es zum nächsten Male die obere Kulmination, so sind 24 Stunden vergangen, steht es noch vor der Meridianebene, wie in der Figur, so sind die 24 Stunden oder die entsprechenden 360° Stundenwinkel noch nicht vergangen. Natürlich entspricht eine Stunde Sternzeit dem 24. Teile von 360° u. s. w.

Das in der Figur schraffierte Dreieck ZPS entsteht von selbst, sobald man sowohl die Höhe (und das Azimut), wie auch die Deklination δ und den Stundenwinkel herstellen will. Für beide Koordinatensysteme ist nötig der Meridian, also Herstellung der Zenit-Pol-Distanz ZP. SP heisst Stern-Poldistanz (und ergänzt die Deklination zu 90°), ZS heisst Stern-Zenitdistanz (und ist das Komplement zur Höhe). Zwei in P an die Himmelskugel und zwar in der Meridian- und der Deklinationsebene gelegte Tangenten bilden einen Winkel, der gleich ist dem Stundenwinkel AD (welchen man natürlich auch auf dem durch S gelegten Parallelkreise messen kann). Das so wichtige Dreieck SPZ heisst das nautische Dreieck (nauta, lateinisch: der Seefahrer).

Uebungen 5.

1. Man zeichne aus der Figur ab, jedes für sich:

Digitized by Google

das Zenit-Horizontsystem, das Pol-Aequatorsystem mit den entsprechenden Koordinaten des Gestirnes S, Horizont mit Tagesbogen, Aufgangs- und Untergangspunkt. 2. Zeichne eine grössere Anzahl von Sternen mit ihren Parallelkreisen, Tagesbogen, Morgenweiten, Kulminationspunkten, Höhen, Deklinationen etc. 3. Zeichne die Figur für einen Ort, an welchem der Pol unter einer sehr geringen und zweitens unter einer sehr grossen Höhe (nahezu 90°) erscheint. 4. In welcher Höhe schneidet für Berlin der Aequator den Meridian? Welche an der Figur erkennbaren Bogen sind alle gleich $37\frac{1}{2}°$? 5. Welches Azimut hat der Ost-, der West-, der Nordpunkt, welche Höhe das Zenit und der Ostpunkt? Welche Koordinaten in beiden Systemen hat der Pol und das Zenit? 6. Wo steht ein Stern mit der Deklination Null° und dem Stundenwinkel von 45°, wo ein solcher mit der Morgenweite 0 und 90°? Welche Poldistanz hat ein Stern, der nur einmal den Horizont berührt? 7. Wie weist man mit dem Finger einen Stundenwinkel von 90° und eine südliche Deklination von 90° entlang? Wohin gelangt man? 8. Was bedeutet ein Stundenwinkel von 23^h Sternzeit in Gradbogen? Welchem Bogen entspricht ein Stundenwinkel von einer Zeitsekunde und umgekehrt: Welcher Sternzeit entspricht ein Stundenwinkel von einer Bogensekunde? 9. Um wieviel Grad ist der für Berlin möglichst vom Nordpol entfernte Circumpolarstern vom Pol entfernt? 10. Wenn die Richtung $\alpha\beta$ des grossen Bären zu einer bestimmten Zeit parallel zur Horizontalen ist und $\alpha\beta$ östlich vom Polarstern liegen, wo liegt der grosse Bär nach 6, 12, 18 Sternstunden?

Digitized by Google

(jeden Fall zu zeichnen.). 11. Wie liegt in den vorigen Fällen der dem Pol nahe Teil der Milchstrasse? Wo liegen Wega, Deneb und Capella? 12. Wenn man weiss, dass ein Stoff beim Dichterwerden die schief einfallenden Strahlen stärker bricht, wie erklärt man dann, dass Verdichtungen und Verdünnungen der Luft das sogenannte Flimmern der Sterne hervorbringen kann? Wieso werden bei Sternwarten alle unregelmässigen, durch Wärme, Erhitzen der Wände, Rauch, Feuer u. s. w. erzeugten Luftströmungen sorgfältig vermieden? Weshalb wird eine auf hohem Berge erbaute Sternwarte manche Vorteile haben? 13. Warum zeichnet man Sterne nicht als einen kleinen Kreis, sondern in der bekannten Sternfigur? Was für einen Schluss kann man daraus ziehen, dass dem Auge auch irdische, helle Lichtpunkte sternförmig erscheinen? (Man fand, dass die Linse des Auges strahlenartige Ungleichmässigkeit des Stoffes besitzt). [14. Wie heisst das physikalische Gesetz für Brechung eines Lichtstrahles? 15. Wieso wird ein Lichtstrahl nur dann eine einmalige Knickung erleiden, wenn eine scharfe Grenze zwischen zwei für sich optisch gleichmässig dichten Stoffen besteht? 16. Warum ist die Atmosphäre nicht gleichmässig dicht? In welcher Art wird sich also der Lichtstrahl krümmen? 17. Wieso besitzt ein nur aus grössten Kreisen auf der Kugel hergestelltes Dreieck Seiten, die sich nur durch Gradanzahlen ausdrücken lassen? Auf welchem grössten Kreise findet man den am Pol liegenden Winkel des nautischen Dreiecks leicht auf? Wie könnte man zu den übrigen Eckpunkten dieses Dreiecks die Winkel auf grössten

Digitized by Google

Kreisen ablesen? (Man betrachte jede Ecke als eine Art Pol und nenne einen dazu leicht zu findenden gewissen Kreis seinen Aequator, der natürlich nur für den wirklichen Pol der astronomische Aequator ist). 18. Man umschreibe mit dem Finger in der Luft die Lagen des nautischen Dreiecks für einen im Südpunkt, im Ostpunkte, in NW bei einer Höhe von 30° liegenden Stern, und stelle die entsprechenden Zeichnungen her.]

6. Die Messung der Erdkrümmung von Süden nach Norden durch die Polhöhe.

Erst jetzt können wir darauf zurückkommen, über die Art der Erdkrümmung Untersuchungen anzustellen. Am leichtesten ist dies für die Nordsüdrichtung.

Thatsache. Bewegen wir uns mittels des Kompasses, dessen Abweichung wir genügend berücksichtigen, oder mittels der astronomischen Bestimmung der Meridianebene in jener Richtung, so führt der Sternenhimmel eine entsprechende Bewegung scheinbar aus; je weiter wir nach N kommen, um so höher steigt der Pol. Wäre die Erde eine genaue Kugel, wüssten wir also, dass es einen Erdmittelpunkt in diesem Sinne gibt und nehmen wir diesen auch als Himmelsmittelpunkt an, so wäre es leicht, auch die Erdkugel durch Koordinaten gerade wie die Himmelskugel einzuteilen, indem wir einfach in Gedanken jeden Punkt des Himmels mit dem Mittelpunkte verbinden und den Schnitt dieses Himmelshalbmessers mit der Erdoberfläche entsprechend bezeichnen (siehe Figur 6, in welcher die kleine Erdkugel angedeutet ist). Aber wir wollen vorläufig nicht Genaues über die Erdoberfläche wissen,

Digitized by Google

Wäre sie etwa eine flache Scheibe, so würden jene Himmelsradien nicht überall ihre Oberfläche senkrecht schneiden, nicht mit den Vertikalen zusammenfallen. Da wir aber nicht zum Mittelpunkte hingelangen können, so würden wir jene Radien praktisch nicht durch Fernrohrrichtungen herstellen können. Wir gehen also lieber von den Vertikalen aus, die in jedem Orte herstellbar sind, und nehmen nur an, dass die Erde sich ziemlich kugelig krümmt. Alsdann wird es am besten zu einer Einteilung kommen, die immer am Himmel wieder leicht auffindbar ist, wenn man stets Entfernungen auf der Erde abmisst, die einer Entfernung von einem Gradbogen am Himmel entsprechen.

Ein Grad auf der Erde sei die durch einen kürzesten, sich möglichst an die Wasseroberfläche schmiegenden Kreisbogen gemessene Entfernung auf der Erde zwischen zwei Orten, deren Vertikalen, verlängert gedacht, einen Winkel von einem Grad bilden (oder, was dasselbe ist, deren Horizontalebenen einen Neigungswinkel von 1° haben).

Ein Ort heisse dann: „südlich von einem anderen", wenn in beiden derselbe Stern zur selben Zeit kulminiert (wenn sie also denselben Meridian haben), und wenn die Polhöhe im ersteren kleiner (oder die Zenit-Pol-Distanz grösser) ist als im anderen. Ein Ort liegt um einen irdischen Grad weiter nördlich, wenn seine Polhöhe um einen Grad grösser oder seine Zenith-Pol-Distanz um einen Grad geringer ist. Erdäquator wird die Gesamtheit aller der Orte genannt, in denen die Polhöhe 0° ist, Erdpole aber die Punkte

Digitized by Google

(ohne Rücksicht darauf, ob sie auffindbar sind), in denen die Polhöhe 90° beträgt, also der Himmelspol im Zenit steht. Die Stellung eines Sternes am Himmel massen wir durch Deklination und Stundenwinkel; anstatt der Deklination wird man zur Bestimmung der Erdlage eines Ortes die kürzeste Linie über die Oberfläche des Wassers hin gedacht bis zum Aequator wählen, man nennt sie die nördliche oder südliche geographische Breite und rechnet sie in Gradbogen, Minuten etc. vom Aequator aus (man denke sich durch den Ort einen Parallelkreis gelegt, derselbe begrenzt mit dem Aequator ein gürtelartiges Flächenstück, Zone (Gürtel) genannt, dessen Breite angegeben wird). Den Anfang des Stundenwinkels gibt bei einem Sterne der Meridian des Ortes am Himmel; dieser ändert sich aber von Ort zu Ort, ist also für die westliche oder östliche Unterscheidung als Anfang nicht brauchbar. Man nennt irdischen Meridian die Gesamtheit aller Punkte auf der Erdoberfläche, in denen derselbe Stern zur selben Zeit kulminieren würde oder eine kürzeste Verbindung von Nord- und Südpol. Als Anfangsmeridian kann man einen ganz beliebigen wählen und nimmt heute meist den durch die Sternwarte von Greenwich (bei London) gelegten, welcher Nullmeridian heisst. Von diesem aus zählen wir vorläufig in Gedanken auf dem Aequator oder auf einem Parallelkreise (d. h. der Verbindung aller der Orte, welche dieselbe Polhöhe haben) die Gradbogen meist nach Osten und Westen bis zu dem betreffenden Meridian eines Ortes und nennen diese Anzahl die geographische Länge. Zwei Beobachter könnten

Digitized by Google

dann durch Kulmination feststellen, ob sie sich genau nordsüdlich von einander befinden, wenn sie ein von beiden im selben Augenblicke bemerkbares Signal geben könnten, oder wenn ihre Uhren genau gleich gingen und bei der Kulmination desselben Sternes dieselbe Sekunde zeigten. Oder aber es müsste der eine zum anderen in genau südnördlicher Richtung reisen können.

Man hat sich bemüht, die wirkliche Länge eines Breitengrades auf der Erde durch ein bestimmtes Mass, welches man annimmt und auf einem Normalmassstab fest niederlegt, auszumessen. Das könnte geschehen durch einen Messfaden, indessen zeigte es sich, dass ein solcher etwa 15 Meilen lang sein müsste. Auch ist die Dehnbarkeit des Faden ebenso störend wie die Fehler, die sich ergeben beim Aneinanderlegen von Messketten (Stäben). Besser gelingt es, Entfernungen von Punkten, die hoch liegen und von denen man sich gegenseitig sehen kann, durch Dreiecksberechnung genau zu finden. Man muss natürlich dabei zuerst irgend eine wenige km lange messbare Strecke haben, die als bekannte Seite eines Dreiecks betrachtet wird. Dann kann man in beiden Endpunkten Winkel nach einem dritten Punkte hin messen, und nun die übrigen Seiten (trigonometrisch, d. h. durch Dreiwinkelrechnung) ausrechnen. An die nun berechneten Seiten legt man neue Dreiecke durch Winkelbeobachtung und berechnet weiter alle Seiten oder Hilfslinien.

Das jetzt allgemein übliche Mass, das Meter (griechisch, neutrum), sollte am Ende des vorigen

Digitized by Google

Jahrhunderts in Frankreich festgesetzt werden als ein auf der Erde stets wieder bestimmbares Mass, nämlich der zehnmillionste Teil eines Erdmeridianviertels (Erdmeridianquadranten, gerechnet vom Aequator bis zum Pol). Letzteres Viertel wurde damals berechnet, doch war die Rechnung ungenau. Demnach ist das damals ein für alle Mal auf einem Platinstabe festgelegte Meter eine künstliche, nicht — wie beabsichtigt — natürliche Masseinheit.

Thatsache. Durch vielfache Berechnungen und Beobachtungen fand man, dass die Meridiangrade in der Nähe des Aequators merklich kleiner sind als die im hohen Norden (Lappland).

Schluss. Die irdischen Meridiane sind nicht genaue Kreise, vielmehr ist die Erdoberfläche nach den Polen zu weniger gekrümmt; die Erde ist keine Kugel, sondern an den Polen abgeplattet. (Man zeichne einen stark abgeplatteten Kreis, also eine Ellipse, lege in der Nähe des Poles zwei berührende Ebenen, die denselben Winkel miteinander bilden wie zwei in der Nähe des Aequators gelegte Tangentialebenen, es findet sich, dass die beiden Berührungsorte nahe dem Pole einen grösseren Abstand haben müssen. (Siehe Uebung 2.) Wie gross die Abplattung ist im Verhältnis zum Aequatorumfang, können wir erst dann angeben, wenn wir gelernt haben, auch Entfernungen in westöstlicher Richtung auszumessen. Dazu ist indessen die Polhöhe unbrauchbar. Wir haben eine besondere Untersuchung nötig.

Uebungen 6.

1. Welche Schwierigkeiten hat es, festzustellen, ob

Digitized by Google

ein Ort genau südlich vom andern liegt? Welche Eigenschaften müssen zwei dabei benutzte Uhren äusserlich zeigen (innere Einrichtung, siehe später!)? 2. Lege auf dem Papiere durch zwei Punkte einen kleineren und einen grösseren Kreis und ziehe die 4 Radien. Welche bilden den kleineren Winkel? Lege durch das Centrum des grösseren zwei Parallelen zu den Radien des kleineren, welchen Winkel bilden sie? Schneiden sie aus dem Umfang des grösseren Kreises ein grösseres Stück aus? Wieso muss man von einem flacheren Bogen — z. B. am abgeflachten Erdpol — ein grösseres Stück nehmen, um denselben Winkel zu erhalten? 3. Man zeichne eine Ellipse, lege in vielen Punkten Tangenten und errichte auf diesen in den Berührungspunkten Lote — schneiden diese die grosse Axe im Mittelpunkte derselben? Weshalb dürfen wir annehmen, dass die äussersten dieser Schnittpunkte vom Mittelpunkte gleichen Abstand haben? 4. Wieso müsste man ausserordentlich viele Gradmessungen vornehmen, wenn man nachweisen wollte, dass alle durch die Pole gehenden Ebenen wirkliche, gleiche Ellipsen aus der Erdoberfläche herausschnitten? 5. Wieso wäre dann auch bewiesen, dass der Aequator ein wirklicher Kreis wäre? Wieso könnte man den Mittelpunkt desselben Erdmittelpunkt nennen? 6. Wieso müsste man eine Verbesserung an den durch Polzenitbeobachtungen festgestellten Breitengraden vornehmen, falls dieselben genau den Deklinationen der Parallelkreise am Himmel entsprechen sollten (sogenannte verbesserte Breite)? 7. Weshalb misst man den Stundenwinkel nur nach W herum, die geographische

Digitized by Google

Länge aber gewöhnlich nach W und O? 8. Falls ein Grad auf der Erde etwa 15 Meilen gross ist, kann man innerhalb einer Stadt von einem Breitenunterschiede von einer Sekunde sprechen? 9. Wie kann man sich den Namen geographische Länge zum Unterschiede von Breite merken? (In Wahrheit rührt der Unterschied von der Gestalt des Mittelmeers und seiner Länder her, wobei die Ausdehnung N S kleiner ist (Breite); die Alten kannten nur diese Gegend genauer). 10. Wieso ist die Einteilung des metrischen Systems besonders praktisch (man denke auch an die durch die Araber eingeführte Schreibweise der Zahlen mit Stellenwert!)? Was ist ein Kilometer? Welche Zeit etwa braucht ein guter Fussgänger, um es zurückzulegen? [11. Die Tangente einer Ellipse bildet mit den nach den Brennpunkten gezogenen Radii vectores gleiche Winkel; wieso thut dies auch die im Berührungspunkte errichtete Normale? 12. In welcher Weise teilt die Normale die Entfernung der Brennpunkte (Verhältnislehre)? 13. Legt man eine Parallele zur grossen Axe, wieso schneiden dann die in den beiden Schnittpunkten derselben mit der Ellipse errichteten Normalen die grosse Axe in gleichen Abständen vom Mittelpunkte? 14. Wieso ist planimetrisch ein Dreieck durch eine Seite und zwei Winkel völlig bestimmt? Durch welche drei Stücke sonst noch? Welche trigonometrischen Sätze hat man nötig, um die übrigen Stücke aus drei gegebenen zu berechnen? 15. Wie kann man eine längere gerade Linie mittelst einer Reihe von Dreiecken berechnen, falls man nur eine einzige, kleine Dreiecksseite kennt? 16. Was ist ein

Digitized by Google

Spiegelsextant? Wieso kann der Seefahrer mit demselben seine geographische Breite und den Abstand irgend welcher Sterne von einander finden? 17. Auf Sternwarten stellt man auch ein Fernrohr in der von W nach O gehenden Vertikalebene (dem „ersten Vertikal“) auf; in demselben erscheinen nur Sterne, die in der Zone zwischen Aequator und einem um die geographische Breite von diesem abstehenden Parallelkreise liegen — wieso? Kann man hierdurch die geographische Breite des Beobachtungsortes und die Deklination jener Sterne recht genau bestimmen?]

7. Die Messung der Erdkrümmung von Osten nach Westen durch Kulmination und Signale.

Thatsache. Reist man nach Osten hin, so kulminiert jeder Stern früher.

Dies kann man genau feststellen, wenn man sich an zwei westöstlich entfernten Orten über denselben Beobachtungsaugenblick verständigen kann.

Thatsache. Das Licht bewegt sich mit einer derartigen Schnelligkeit in gerader Linie fort, dass man die Zeit dieser Fortbewegung innerhalb irdischer Entfernung als Null ansehen kann — ebenso der galvanische Strom, falls demselben keine besonderen Hindernisse im Wege stehen.

Man kann sich also darauf verlassen, dass ein bestimmtes, irgendwo plötzlich aufflammendes Lichtsignal von zwei verschiedenen Orten der Erde aus im selben Augenblicke bemerkt wird. Also kann man auch feststellen, welcher Punkt des Himmels bezw. welcher Stern im selben Augenblicke an zwei Orten kulminiert. Prak-

Digitized by Google

tischer wäre es, von einer Station aus nach der anderen hin ein elektrisches Signal zu geben, weil dies auf weitere Entfernungen hin möglich wäre, als die Beobachtung eines Lichtes. Indessen gehört dazu, dass sich beide Beobachter gleichzeitig am Apparate befinden, auch ist es nicht gewiss, ob der Strom unendlich wenig Verzögerung findet. Ferner kann man solche Beobachtungen nur auf bestimmten telegraphisch verbundenen Stationen machen. Es muss daran gelegen sein, in jedem beliebigen Augenblicke auf der Reise, z. B. der Seefahrt, die geographische Länge feststellen zu können. Darum wird man sich nach einem Instrumente umsehen, welches genau anzeigt, wann an irgend einem bekannten, verlassenen Orte der Mittag und überhaupt eine bestimmte Tageszeit eintritt; gleichzeitig wird man natürlich eine Tabelle über die Kulminationszeiten der Sterne an diesem Orte haben wollen. Diese Augenblicke müssten in einer Zeit angegeben sein, welche sich nach dem Orte richtet, der Ortszeit jener Station.

Ein derartiges Instrument wäre eine mitgenommene nach dieser Ortszeit gestellte Uhr. Indessen gehen gewöhnliche Uhren unsicher. Wir haben uns also zu überlegen, wie man genau gehende Uhren herstellen müsste und worauf überhaupt die Gleichmässigkeit derselben beruht. Darauf wird nun folgende Definition genügen.

Ein Ort ist um einen Grad geographischer Länge von einem andern westlich entfernt, wenn derselbe Stern um einen Stundenwinkel von einem Grad oder um die entsprechende Anzahl von Sternsekunden daselbst später als in dem anderen Orte kulminiert, beziehentlich in

Digitized by Google

dieselbe Höhe tritt, beurteilt nach dem auf Ortszeit dieses anderen Ortes gestellten Chronometer.

Uebungen 7.

1. Welche Hindernisse stehen der Beobachtung eines Lichtsignales und der elektrischen Verständigung im Wege? 2. Was hat der Seefahrer unbedingt nötig, um sich über seinen jedesmaligen Ort zu unterrichten? Warum wird er auch den Kompass nicht entbehren wollen? Weshalb hat er Karten nötig? [3. Mit welcher Vorrichtung hindert er das Schwanken der Magnetnadel während der Fahrt? Ist das Schwanken des Schiffes für die Feststellung von Breite und Länge hinderlich?]

8. Die Erdanziehung, das Pendel und die Pendeluhr.

Eine Eigenschaft der Erde, die sich an allen bekannten Orten mit grosser Gleichmässigkeit zeigt, ist es, alle Gegenstände zu sich hinzuziehen.

Thatsache. Lässt man einen Körper beliebiger Art los, sodass er durch andere Stoffe keine Hindernisse mehr findet, so fällt er in einer bestimmten Richtung, nämlich der Vertikalen oder Lotrichtung, zur Erde hin; diese steht senkrecht auf der Wasseroberfläche der bestimmten Stelle, geht aber, falls die Erde keine genaue Kugel ist, nicht mit allen übrigen Vertikalen nach demselben Punkte im Erdinnern.

Man schreibt diese Erscheinung einer Kraft zu, vergleicht sie etwa mit der Kraft, die wir beim Ziehen ausüben. Da letztere grösser oder kleiner ist, je nachdem wir denselben Gegenstand während derselben Zeit in schnellere oder langsamere Bewegung versetzen, so

Digitized by Google

suchen wir ein Mass für die Grösse der Erdanziehung in der Geschwindigkeit, welche ein losgelassener, frei fallender Körper nach der Zeiteinheit, also am Ende der ersten Sekunde annimmt.

Thatsache. Ein fallender Körper nimmt eine in jedem Augenblicke, also gleichmässig zunehmende Geschwindigkeit an. Darum können wir ein Mass für die Erdanziehung nicht ohne weiteres als Geschwindigkeit (d. h. in einer Sekunde bei weder schneller noch langsamer werdender Bewegung zurückgelegte Strecke) beobachten, denn vom Ende der ersten Sekunde ab verbleibt die Geschwindigkeit nicht während der nächsten Sekunde dieselbe. Man stellt sich darum folgenden Fall vor.

Definition. Das Mass der Erdanziehung in einem Orte, genannt g (gravitas = Schwere, lateinisch), ist diejenige Strecke, in Metern ausgedrückt, welche ein freifallender Körper im Verlaufe der zweiten Sekunde seines Falles zurücklegen würde, wenn im Anfange dieser zweiten Sekunde die Erdwirkung plötzlich verschwunden wäre (also etwa die Erde einen ungeheuren, unendlich grossen Stoss erhalten hätte, wodurch sie sofort ins Unendliche fortgeschleudert würde). Man sagt auch: die Erde erteilt im Verlaufe einer Sekunde eine Endgeschwindigkeit von g Metern.

Schluss. Da die Erdanziehung fortwährend an einem Orte in gleicher Art wirkt, so kann man sich vorstellen, dass sie im ersten, unendlich kleinen Augenblicke noch die Strecke Null als Geschwindigkeit bewirkte, bis zum letzten Augenblicke der ersten Sekunde die Strecke g, (d. h. bis dahin das Bestreben

Digitized by Google

erteilt hätte, nun in einer Sekunde um g weiter zu fallen). Alsdann würde während der ganzen ersten Sekunde dieselbe Wirkung hervorgebracht werden, als wenn die Erdkraft fortwährend in gleichmässiger Art die mittlere Geschwindigkeit von $\frac{0+g}{2}$ oder $^1/_2$ g erteilte. Mithin muss eine Kraft von dem Masse g in der ersten Sekunde einen Weg von $^1/_2$ g bewirken.

Wenn wir also genau die Strecke messen können, welche ein ganz frei fallender, unbehinderter Körper in der ersten Sekunde vom Loslassen ab zurücklegt, so finden wir daraus die Grössen des Masses der Erdanziehung dieses Ortes durch Verdoppelung. Wäre die Erdkraft nach der ersten Sekunde nicht mehr vorhanden, so würde der Körper in gerader Linie solange mit derselben Geschwindigkeit weiter fallen, bis er ein Hindernis fände, nach dem von Galilei etwa 1600 gefundenen sogenannten Satze von der Beharrung (Trägheit). Offenbar muss die Erdanziehung auch das vertikale Herabhängen eines beschwerten Fadens (des Pendels) bewirken. Doch kann man die Grösse derselben am ruhenden Faden, falls derselbe überhaupt den Zug aushält und nicht reisst, nicht erkennen. Bekanntlich reisst der Faden leichter, wenn der hängende Körper umfangreich ist und aus einem Stoffe besteht, den wir schwer nennen. Das sogenannte Gewicht eines Körpers wird demnach sowohl durch seine eigene Beschaffenheit, als auch durch die Erdanziehung bestimmt.

Setzt man das Pendel in Bewegung, so zeigt sich, dass dasselbe nach dem Loslassen in ganz gleicher Weise schwingt, ob man nun einen schweren oder

Digitized by Google

leichten Körper angehängt hat (nur verzögert der Widerstand der Luft die Bewegung und bringt sie umso schneller zum Stillstand, je leichter der Körper ist und je grössere Fläche er der Luft bietet). Verkürzt man den Pendelfaden auf $^1/_4$, $^1/_9$ u. s. f., während eine möglichst kleine, schwere Masse daran hängt, so ist die Schwingungsdauer (die Zeit, in der eine Hinschwingung oder die Hälfte einer vollständigen Schwingung erfolgt), $^1/_2$, $^1/_3$ u. s. f. so gross wie vorher. Ist der Ausschlagswinkel (Winkel, den die beiden entferntesten Stellungen des Fadens bilden) nur so gross, dass man die Bahn des schwingenden Punktes als nahezu geradlinig betrachten kann, so ist die Schwingungsdauer dieselbe, ob man nun auch verschiedene Winkel, z. B. solche von 2° oder 4° wählt. (Galileis Pendelgesetze.)

Versuch. Befestigt man das obere Fadenende eines Pendels an einem horizontalen Stabe, den man mit der Hand hält, und geht, während das Pendel schwingt, langsam derart mit dem Stabe im Kreise herum, dass der Befestigungspunkt in Ruhe bleibt und sich nur in sich dreht, so behält das Pendel seine ursprüngliche Schwingungsebene. Dasselbe ist der Fall, wenn man sich langsam mit dem Stabe vom Orte fortbewegt.

Besonders wird es uns interessieren, zu erfahren, inwiefern die Pendelbewegung von der Grösse der Erdanziehung abhängt. Da man diese aber nicht beliebig abändern kann, erscheint der Versuch schwierig. Indessen kann man versuchen, die Schwere in ähnlicher Weise zu vermindern, wie es bei einer Wage geschieht, wenn die Ware durch am andern Hebelarm

Digitized by Google

aufgelegte Gewichte gehoben und endlich in die Schwebe gebracht wird.

Versuch. Man umwickele die Mitte einer Stricknadel mit festem, aber geglühtem Drahte und lasse die Enden desselben nach Art einer zur Nadel senkrechten Axe abstehen. Diese legt man auf zwei horizontale, parallele runde Stäbe oder Schneiden und steckt auf die Enden der Stricknadel zwei in der Mitte durchbohrte Bleischeiben. Ist der Abstand beider von der Axe derselbe, so sind die Schwingungen unendlich langsam, die Erdanziehung auf die untere Bleiplatte ist aufgehoben oder gleich Null. Je tiefer man die obere Platte herunterschiebt, um so rascher werden die Schwingungen. Ein solcher Taktzähler kann uns demnach eine Vorstellung davon geben, dass die Schwingungsdauer von der Grösse der Erdschwere abhängt.

Gesetz. Genaue Untersuchungen haben ergeben, dass beim mathematischen, d. h. aus unendlich dünnem Faden und punktartiger Masse gebildetem Pendel die Schwingungsdauer halb so gross wird, wenn sich die Anziehungskraft vervierfacht u. s. w.

Schluss. Mithin kann uns das Pendel, welches ein sehr exaktes Instrument ist, Auskunft über die etwaige Veränderung der Erdschwere oder Erdanziehung in verschiedenen Orten der Erdoberfläche geben.

Natürlich müsste diese Auskunft auch durch Fallversuche zu erlangen sein, indessen liegen dabei grössere Schwierigkeiten vor. Durch sehr feine Versuche hat man gefunden, dass eine Abweichung von der gewöhn-

Digitized by Google

lichen Fallrichtung oder Vertikalen sich zeigt, wenn man sich dicht zur Seite eines schweren Körpers, etwa eines Berges befindet.

Schluss. Die Erdanziehung wird durch die sämtlichen Stoffe der Erde gemeinsam bewirkt, sie richtet sich natürlich nach irgend einem Punkte oder vielmehr zwei Vertikalen schneiden sich in einem solchen Punkte, aber dieser ist nicht für alle Orte der Erde ganz genau derselbe; dies würde nur dann sein, wenn die Erde eine genaue, gleichartig geschichtete Kugel wäre und es sonst keine Einflüsse gäbe, die auf Fall und Vertikale wirken.

Versuche. Entfernt man sich merklich vom Meeresniveau aufwärts, steigt z. B. auf hohe Berge, so wird die Grösse g geringer.

Schluss. Wegen der Abplattung müsste g nach den Polen zu grösser werden und zwar genau gesetzmässig der Grösse der Abplattung entsprechend. Wenn wir aber in Meereshöhe von O nach W reisen, so müsste, falls der Parallelkreis ein wirklicher Kreis ist, dessen Mittelpunkt in der Himmelsaxe oder Verbindung vom südlichen und nördlichen Erdpol liegt, g, also auch die Schwingungsdauer desselben Pendels dieselbe bleiben. Die Pendeluhr ist ein höchst wichtiges Instrument und als Zeitmesser höchst brauchbar, nur müssen wir durch Beobachtung derselben auch feststellen, ob die Erdanziehung an den Orten der Benutzung verschieden ist; dies ist der Fall, wenn die 24-Stunden-Uhr des einen am andern Orte nicht genau 24 Stunden zeigt, also vorläuft oder nachbleibt, was sich durch Beobachtung der Sternkulmination beurteilen lässt.

Digitized by Google

Uebungen 8.

1. Man nenne Beispiele von bewegten Körpern, welche ohne neuen Anstoss die Bewegung lange fortsetzen, namentlich in horizontaler Richtung. 2. Was versteht man unter Reibung? Beispiele: Wieso wird bei allen Bewegungen, die wir auf der Erde kennen, ein Stillstand schliesslich eintreten (man rede auch von Luftwiderstand)? 3. Wieso wird man die Reibung und den Luftwiderstand als eine (hemmende) Kraft betrachten müssen? Man vergleiche sie mit einer durch den Menschen ausgeübten Hemmung. 4. Wieso kann man aus einer gleichmässig schnellen Bewegung nicht auf eine Kraft schliessen, ausser, wenn man annimmt, dass der bewegte Körper vorher in Ruhe war? In diesem Falle wird man die Kraft nur in welcher Zeit als wirksam betrachten? 5. Wie heisst der Satz der Trägheit? Wieso darf man von Trägheit sprechen auch bei Fortsetzung einer Bewegung? 6. Was ist eine Beschleunigung oder Zusatzgeschwindigkeit? Wieso ist die Beschleunigung das Mass einer auftretenden Kraft? Wieso wird man eine Hemmung als eine negative Beschleunigung bezeichnen dürfen? 7. Wenn man angiebt, dass g für Berlin 9,8126 m beträgt, wie gross ist dann der Fallraum in der ersten Sekunde daselbst? 8. Wieso wird der Fallraum in der zweiten Sekunde 3/2 g betragen? 9. Wie gross wird der Fallraum in der dritten Fallsekunde an einem Orte sein, wo g gleich 9,8 m ist? 10. Wie sorgt bei einer Pendeluhr (erfunden vom Holländer Huygens, gespr. Heugens, 1629—1695) das Pendel dafür, dass das damit zunächst zusammenhängende Rad bei jedem Pendelgange nur um einen Zahn sich drehen kann? Welche

Digitized by Google

Kraft dreht das Rad? Wie wird dafür gesorgt, dass die Reibung und der Luftwiderstand das Pendel nicht zur Ruhe bringt, aber doch auch die Gesetzmässigkeit des Pendels nicht beeinträchtigt wird? (Fig. 7.) [11. Wieso beträgt der Gesamtfallraum in t Sekunden $g/2 \cdot t^2$? Wieso schreiten die Einzelfallräume nach ungeraden Zahlen, die Endgeschwindigkeiten am Ende der auf einander folgenden Sekunden wie die Reihe der natürlichen Zahlen, und die Gesamtfallräume wie die

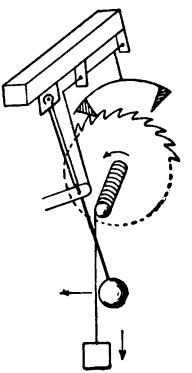


Fig. 7.

Quadrate der Anzahl der Fallsekunden fort? 12. Wieso sind in der Formel für eine Hinschwingung des Pendels $t = \pi \sqrt{l/g}$ die Galilei'schen Gesetze für das mathematische Pendel enthalten? Was bedeutet dabei l oder die Pendellänge? 13. Was ist ein physisches Pendel und welches ist die Formel dafür? Was ist ein Trägheitsmoment und was hat dasselbe mit dem Pendel zu schaffen? 14. Wie ist es erklärbar, dass

Digitized by Google

alle Körper, abgesehen vom Luftwiderstande und abgesehen von dem unbeträchtlichen Höhenunterschiede, den sie beim Fallen durchmachen, am selben Orte gleich schnell fallen (man bedenke, dass die Erdanziehung auf jeden Punkt oder jedes Atom einzeln wirkt)? 15. Welche Vorteile hätte eine gute mit einer Federunruhe versehene Uhr auf der Reise vor der Pendeluhr (denke an die Veränderung von g)?]

9. Die Umdrehung (Rotation) der Erde.

Wie wir sahen, wird die Schwingungsdauer eines Pendels wesentlich beeinflusst von der Grösse des Masses der Erdanziehung. Wenn wir demnach, wie wir wünschen, das Pendel als feinstes Instrument zur Erforschung der Gestalt der Erdoberfläche und die Pendeluhr zur Orientierung benutzen wollen, so müssen wir überlegen, ob nicht etwa die Schwere noch durch andere Gründe verändert werden kann. Ein einfacher Versuch wird uns zeigen, dass die Erdanziehung recht leicht zeitweilig sogar ganz aufgehoben werden kann und zwar ohne dass etwa ein anderer hindernder Stoff, eine den Druck aushaltende Unterlage die Fallbewegung hemmt.

Versuch. Drehen wir ein mit Wasser teilweise gefülltes Glas langsam um, so dass der Boden nach oben kommt, so fliesst das Wasser infolge der Erdanziehung aus. Drehen wir aber den Daumen der rechten Hand nach unten, so dass die innere Handfläche nach rechts hin gewendet ist, erfassen so das auf dem Tische stehende Glas und drehen es in einem möglichst genauen Kreise nicht zu langsam nach links aufwärts

Digitized by Google

herum, so dass es in der oberen Stelle des Kreises gerade umgekippt ist, so können wir es wieder auf den Tisch (im Schwunge) zurückführen, ohne dass ein Tropfen ausfliesst.

Schluss. Es muss infolge der eigentümlichen Kreisbewegung eine Kraft sich in solcher Richtung geltend machen, dass dadurch die Schwere vollkommen aufgehoben ist. Jene Kraft zieht in dem Augenblicke, wo das Glas sich oben befindet, vertikal nach oben, also vom Mittelpunkte des beschriebenen Kreises fort. Dieselbe Kraft fühlen wir ganz deutlich, wenn wir einen gefüllten Eimer oder irgend einen anderen Gegenstand in einem horizontalen Kreise mit dem Arme um uns herum schwingen, überhaupt bei jeder Kreisschwingung. Sie heisst Schwungkraft oder, da sie nach aussen zieht, Centrifugal- oder Fliehkraft (fugere, lat., fliehen, nämlich vom Centrum fortfliehen). Da nun die Erde kugelähnlich ist und sich Kreise auf ihrer Oberfläche, wenigstens annähernd, finden, so wäre es nicht unmöglich, dass auch auf ihr die Schwungkraft aufträte, falls die Erde eine drehende Bewegung machte. Sicherlich würde sich das am Pendel bemerklich machen, und umgekehrt würde man durch entsprechende Erfahrungen am Pendel wohl auf derartige, sonst schwer wahrnehmbare Bewegungen der Erde schliessen dürfen.

Die Frage, ob die Erde still stehe oder nicht, wie es möglich ist, dass die Erde einen Halt hat, d. h. gewisse Stellungen zu den Gestirnen innehält, obwohl sie rings herum keine Stütze hat, sondern schwebt, d. h. zunächst mit Luft umgeben ist, diese Frage drängt

Digitized by Google

sich uns auch von vielen anderen Richtungen her auf. Die wunderbare Gleichmässigkeit der Drehung des Sternenhimmels ist zu allen Zeiten dem beobachtenden Menschen aufgefallen und hat ihn veranlasst, entweder die Erde für den wichtigen Mittelpunkt der ganzen Raumwelt zu halten oder aber darüber nachzudenken, wie es möglich ist, dass um die eine Erde sich so zahllose Gestirne herum bewegen sollen. Schon frühe nahmen einige Gelehrte an, die Erde drehe sich und der Himmel stehe still. Freilich war lange die Lehre des Claudius Ptolemäus (etwa 140 n. Chr. Geb. in Alexandria, niedergelegt in seinem Werke „Almagest") allgemein anerkannt, nach der die Erde stillstand, und trotzdem alle Bewegungen der Gestirne ausdrückbar und zu berechnen waren. Erst durch Nikolaus Kopernicus (in Thorn, 1473—1543, Buch über die Umwälzungen der Himmelskörper) wurde jenes System allmählich verdrängt. (Noch Galilei wurde, weil er sich für das System des Kopernicus entschied, durch die Inquisition verfolgt und soll nach erzwungenem Widerruf gesagt haben: „Und sie bewegt sich doch!")

In der That ist es sehr sonderbar, dass die unzählbaren, fernen und teilweise ihre Stellung untereinander merklich ändernden Gestirne gemeinsam in gleicher Zeit um die Erde herumkreisen sollen, um so sonderbarer, wenn man erfährt, dass diese Gestirne zum Teil grösser als die Erde sein müssen.

Thatsache. Wenn sich ein Raum, in dem wir uns befinden, etwa eine Kajüte oder ein Eisenbahnwagen, mit gleichmässiger Geschwindigkeit in einem grossen Kreise herumbewegt, so erscheint es uns sehr leicht, als

Digitized by Google

ob wir stille ständen, die in Wahrheit aber stillestehende Umgebung sich in entgegengesetzter Richtung um uns drehte.

Schluss. Es wäre möglich, dass die Erde sich um eine Axe drehte, um die sich der Himmel zu drehen scheint.

Da nun diese Annahme viel natürlicher ist und auch die Bewegungen des gesamten Himmels viel einfacher erklärt, so sind wir geneigt, die Kopernikanische Lehre für richtig zu halten. Es fragt sich aber, wo die Erdaxe eigentlich liegt. Wir haben bisher angenommen, dass die Himmelsaxe durch unseren Sehmittelpunkt geht oder auch, sie gehe durch den Erdmittelpunkt, wenigstens für die Beobachtung der ungeheuer weit entfernten Gestirne. Wenn nun aber die Erde selbst sich drehen soll, so könnte die Erdaxe vielleicht durch den Ort eines Beobachters gehen — dann fragte es sich, welchen Ort man als ruhend annehmen muss — oder sie könnte durch die beiden, von uns noch nie erreichten Erdpole gehen. Jedenfalls muss sie parallel zur Himmelsaxe sein.

Wir werden darum erstlich nach Beweisen für die im vorigen nur wegen ihrer Einfachheit geglaubte Kopernikanische Ansicht suchen, zweitens nach Beweisen dafür, dass die Erdaxe durch die Pole geht. Nachdem der Beharrungssatz gefunden war, konnte Newton (1679 in einem Briefwechsel mit Hook) vermuten, dass tief hinabfallende Steine nach Osten von der Vertikalen oder Pendellage abweichen müssten. Sie würden nämlich, abgesehen davon, dass sie herabfallen, seitlich diejenige Geschwindigkeit beibehalten müssen, die sie mit ihrer früheren Umgebung gemeinsam hatten. Dreht

Digitized by Google

sich nun die Erde so, dass ein Punkt der Oberfläche weiter von der Drehungsaxe absteht wie ein tief unter ihm in der Erde liegender Punkt, so müsste der in die Erde hinabfallende Körper nach O zu eine stärkere Geschwindigkeit haben, als die Stoffe da unten, mithin nicht genau in einem Punkte gerade unter seiner ersten Lage, sondern weiter nach O ankommen.

Erst seit Ende des vorigen Jahrhunderts gelang es, die Versuche mit Erfolg auszuführen und damit den ersten wirklichen (direkten) Beweis für die Rotation der

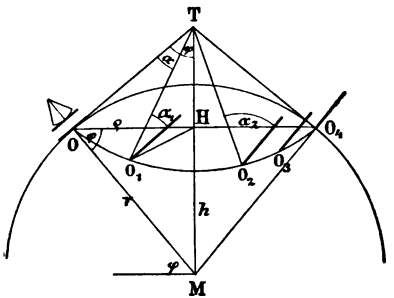


Fig. 8.

Erde zu liefern. (Berühmt sind die Versuche von Reich, 1831, in einem senkrechten 158,5 m tiefen Schachte zu Freiburg, wo $g = 9{,}811$, die Breite $= 50°$ 57′ ist.) Nach der Berechnung hätte die Abweichung der fallenden Körper 27,5 mm östlich betragen müssen, bei den Versuchen zeigte sich eine durchschnittliche Abweichung von 28 mm.)

Könnte man solche Versuche an mehreren Stellen ausführen, so würde sich daraus auch die Lage der Erdaxe ergeben.

Digitized by Google

Ein zweiter direkter Beweis gelang **Foucault** in Paris im Jahre 1851 durch seinen berühmten Pendelversuch. Er wandte, um den Luftwiderstand länger zu überwinden, endlich im Pantheon ein schweres, 62 m langes Drahtpendel an. Denken wir uns zwei Orte O und O_1 (Figur 8) auf der Erde, welche dieselbe Polhöhe haben, aber z. B. um den achten Teil ihres Parallelkreises oder um 3 Stunden Zeit voneinander entfernt sind, so sind die Nordsüdrichtungen in beiden Orten, nämlich die Erdtangenten OT und O_1T, nicht parallel. Wenn also durch Drehung der westliche Ort in 3 Stunden an die Stelle des östlichen gerückt wird und das Pendel seine Ebene, wie bekannt, beibehält, so müsste ein im ersten Orte genau von S nach N schwingendes Pendel nach der dreistündigen Umdrehung nicht am zweiten Orte nach N schwingen, sondern mehr nach NO hin.

In der Figur ist die am tiefsten Punkte an die Pendelbahn in O_1 gelegte Tangente und ihre Parallelen in O_2 etc. stark gezeichnet. Allerdings wird die Mittellage des Pendels, also die Vertikale von Ort zu Ort anders; die gezeichneten Parallelen in $O_2 O_3$ etc. sind, namentlich für mittlere Breiten, nicht mehr genau Tangenten in den tiefsten Punkten der Pendelbahn, sondern ragen allmählich immer mehr aus der Horizontalebene des betreffenden Ortes nach aufwärts heraus (siehe in O_4!). In Wahrheit schmiegt sich die Bahn des schwingenden Körpers immer möglichst der betreffenden Horizontalebene an. Die Herausragung der gezeichneten wirklichen Parallelen zur Tangente im ersten Orte ist nach wenigen Stunden noch nicht bedeutend, der Win-

Digitized by Google

kel α_1 ist nahezu die wirkliche Abweichung der Schwingungsrichtung. Solche Abweichung nach rechts (wenn man von der Vertikalen aus in der Richtung der Bewegung blickt) zeigt sich auch, wenn man im ersten Orte das Pendel in irgend einer anderen Himmelsrichtung schwingen lässt (man zeichne die betreffenden Figuren).

Im Aequator freilich sind die horizontalen NS-Richtungen alle parallel zur Weltaxe, deshalb dürfte sich in ihm überhaupt keine scheinbare Drehung der Pendelebene zeigen. Am Pol giebt es keine horizontale NS-Richtung, S liegt nach allen Seiten; zeichnet man aber vom Nordpol aus irgend eine Meridianlinie fest auf die Erde, so müsste die Pendelebene über dieser Linie scheinbar in 24 Stunden um 360, in 1 Stunde um 15° ebenso wie der Sternenhimmel (d. h. in einer Richtung, die man von O nach W nennt, obwohl es am Pol selbst kein O und W giebt, sondern nur entgegengesetzte Drehungsrichtungen) sich drehen. Unter einer Breite von $\varphi = 52° 30'$ (Berlin) betrüge der Drehungswinkel nach der Berechnung (siehe Uebungen!) sehr nahe $11° 54'$ in einer Stunde.

Thatsache. Alle bisher angestellten, natürlich niemals sehr viele Stunden dauernden Versuche haben ergeben, dass die Abweichung der Drehungsebene überall der aus der Annahme der Erddrehung hervorgehenden Berechnung entsprechen.

Schluss. Die Erde dreht sich von W nach O in 1 Stunde um 15° und zwar um eine mit der Weltaxe gleichgerichtete Axe.

Durch jeden Punkt einer Kugeloberfläche kann

Digitized by Google

man unendlich viele grösste Kreise legen. Wenn die Erde stillstände und man sich genau nach N zu bewegte, so würde man in Folge der Erdanziehung sich zwar nicht in gerader Linie nach dem Beharrungsgesetze weiter bewegen können, aber wohl sich dem durch den N-Pol gehenden grössten Kreise, dem Erdmeridian anschmiegen. Wenn sich aber die Erde dreht, und man bewegt sich nach irgend einer Richtung auf der nördlichen Halbkugel vorwärts, möglichst nur dem Beharrungsgesetze folgend, so weicht man bald von selbst von der SN-Richtung und zwar mehr nach O hin, also nach rechts hin ab und schmiegt sich fortwährend anderen grössten Kreisen an (die Erdkraft zieht in vertikaler Richtung). Dies folgt allein aus Figur 8 (siehe die stark gezeichneten Linien!) durch Veränderung der geographischen Länge. Indem man aber auch die geographische Breite fortwährend beim Vorwärtsreisen ändert, nimmt man eine westöstliche Geschwindigkeit von einem Orte nach dem anderen mit (Beharrung). Nun beschreiben die Orte nahe dem Aequator in 24 Stunden grössere Kreise wie die Orte weiter nördlich oder südlich, also ist die von einer geringeren Breite (Breite mit geringerer Gradanzahl) mitgenommene östliche Geschwindigkeit grösser als die in den neuen Orten getroffene; folglich muss man auch aus diesem Grunde beim Wandern nach dem Norden zu, mehr und mehr östliche Richtung annehmen, beim Wandern von N nach dem Aequator zu westliche, immer aber auf der nördlichen Halbkugel sich mehr und mehr nach rechts drehen. Daraus folgt die Foucault'sche Regel. Jede Bewegung weicht, infolge der Beharrung,

Digitized by Google

der Erddrehung und der Erdanziehung, auf der nördlichen Halbkugel fortwährend beziehlich der Windrose nach rechts ab, auf der südlichen Halbkugel nach links.

Uebungen 9.

1. Man beschreibe Beispiele, in denen die Schwungkraft die festhaltende (hindernde) Kraft eines Fadens zerreissen kann. Wieso kann man letztere eine anziehende Kraft nennen? 2. Wenn ein Körper im Raume schwebend im Kreise um einen anderen Körper sich herumbewegt, so muss man deshalb eine unsichtbare, zwischen beiden wirkende anziehende Kraft vermuten? (Was würde ohne letztere geschehen?). 3. Wieso führte das Beharrungsgesetz schliesslich auf die Reich'schen Fallversuche? Wieso eilt schliesslich das Gewicht eines hinabgelassenen Pendels nicht mehr nach O vor? Könnte es nützen die Fallversuche auch in der Nähe eines Poles auszuführen? Ist es günstiger sie in der Nähe des Aequators oder in einer mittleren Breite auszuführen? 4. Wenn ein Loch geradlinig ganz durch die Erde und zwar durch den Mittelpunkt innerhalb der Aequatorebene führte, könnte ein fallender Stein, ohne seitlich anzustossen, hindurchfallen? Wenn ein Loch durch beide Pole und die Erdmitte ginge, wie würde ein fallender Stein darin sich bewegen? 5. Wenn man nur an einem Orte die Fallversuche im vertikalen Schachte ausführte, würde man daraus schon einen Schluss auf die Lage der Erdaxe ziehen können? Und event. welchen? Würden Versuche an zwei gerade entgegengesetzt liegenden Orten der Erde solchen Schluss erlauben? [6. Warum können wir

Digitized by Google

in Figur 8 den Winkel α gleich α_1 setzen? Der Bogen 00_1 gehört zum Kreise mit dem Mittelpunkte H, wieso können wir ihn nicht genau als Bogen in einem Kreise mit dem Mittelpunkte T betrachten (welches ist die Ebene, in der er liegt?)? 7. Es muss uns daran liegen die Grösse der Abweichung des Foucault'schen Pendels derartig auszudrücken, dass die Lage des Breitenkreises $00_1 0_2$ oder die geographische Breite φ dabei vorkommt. Also werden wir versuchen den Winkel α_1 zunächst in Beziehung zu bringen mit dem Bogen 00_1. Dies würde dann gelingen, wenn man jenen Bogen in Beziehung brächte zu Winkel α. Die sämtlichen möglichen Tangenten in Orten des Breitenkreises 00_4 gehen durch welchen Punkt? Wieso bilden sie zusammen den Mantel eines Kreiskegels? In was für eine Ebene kann man einen Kegelmantel ausrollen? Wieso wird alsdann der Bogen 00_1 ein Kreisbogen, der dem alsdann entstehenden von den Schenkeln OT und 0_1T gebildeten (ebenen) Winkel angehört? 8. Wieso darf man den Winkel α_1 gleich dem in der Abwickelungsebene entstehenden Winkel α setzen, falls 00_1 nur eine kleine Entfernung vorstellt, also das Pendel nur kurze Zeit geschwungen hat? Man wird nun den Bogen 00_1 erstlich durch den Kreisradius $OT_1 = r_1$ ausdrücken nach der Proportion $00_1 : 2\,r_1\,\pi = \alpha : 360$ (wieso?). Ebenso drücke man jenen Bogen durch den Radius $OH = \varrho$ aus. Da der Bogen sich selbst gleich bleibt, auch nach der Abwickelung, so ergiebt sich $\alpha : \sphericalangle OHO_1 = \varrho : r_1$. Wieso ist Winkel OHO_1 gleich 15°, falls Bogen OO_1 in einer Stunde zurück gelegt wird? Wieso ist $\varrho : r_1$ gleich dem Sinus der geogra-

Digitized by Google

phischen Breite φ? Wieso ist also die Abweichung des Foucaultschen Pendels in kurzer Zeit gleich dem der betreffenden Zeit entsprechenden Drehungswinkel der Erde, multipliziert mit dem Sinus der g. Br.? 9. Stimmt dieses Gesetz für die Breite 0° und 90°? 17. Welches war der Gedankengang jener Ableitung, durch den man vom Abweichungswinkel bis zur Breite gelangte? Wieso kann man auch sin φ durch MH:r ersetzen und wie lautet das Abweichungsgesetz durch diese Grössen ausgedrückt? 10. Wieso ist jene Ableitung nicht ganz streng, wo liegt die Ungenauigkeit? Wieso hat der Fehler für Orte des Aequators oder den Pol keinen Einfluss? 11. Wieso beschreibt in Wahrheit nach einiger Zeit der Schwingungspunkt des Pendels sehr langgestreckte scheinbare Ellipsen, deren grosse Axen die Foucaultsche Aenderung zeigen? 12. Reist man genau nach N und hält immer nördliche Richtung inne, wieso bewegt man sich denn in Wahrheit, d. h. für einen nicht an der Erddrehung teilnehmenden Beobachter nicht in derselben Ebene, gehorcht also auch nicht dem Beharrungsgesetze? Wieso beschreibt man eine spiralartige Linie, die sich immer enger um den Nordpol herumschlingt, bis sie endlich in denselben läuft? Wieso aber erscheint diese Linie für alle an der Erddrehung teilnehmenden Beobachter wie eine ebene, nahezu kreisförmige Ellipse? Und wieso gebraucht man trotz der Krümmung jener spiralartigen Kurve auf ihr die kürzeste Zeit? 13. Stände die Erde still und der Himmel drehte sich und bewegte sich nun ein Gestirn am Himmel in seinem Meridiane, welchen Weg würde es für die Erdbewohner scheinbar nehmen?]

Digitized by Google

10. Die Schwungkraft.

Da die Erde rotiert, also jeder Punkt der Oberfläche in 24 Stunden einen Parallelkreis durchläuft, so dürfen wir jeden Gegenstand der Erde mit einem Gewichte am Faden vergleichen, welches herumgeschwungen wird, aber der Erdanziehung als der festhaltenden Kraft unterliegt. Wie nun durch den Schwung ein der festhaltenden Kraft entgegengesetzter Zug entsteht, so muss auch durch die Erdumdrehung ein Zug nach aussen entstehen, welcher im Aequator der Erdanziehung gerade entgegengesetzt ist (falls der Schwerpunkt der Erde in der Aequatorebene liegt), unter grösseren Breiten aber vom Mittelpunkte des betreffenden Parallelkreises hinwegzieht. Thatsächlich fliegen auch am Aequator die Gegenstände nicht fort, also

Schluss. Die Schwungkraft ist am Aequator bedeutend kleiner als die Erdanziehung; allerdings verlieren daselbst alle Körper an Gewicht, die aus höheren Breiten kommen; man könnte dies durch eine Federwage feststellen.

Ferner muss auch ein Pendel, welches, am selben Orte geprüft, bei Benutzung verschieden schwerer Körper (vom Luftwiderstande abgesehen) gleich schnell schwingt, am Aequator langsamer schwingen als in höheren Breiten. Und zwar muss diese Differenz beträchtlicher sein, als sie die blosse Abplattung ohnehin schon hervorbringen würde.

Erfahrung. Richer reiste 1672 mit seiner in Paris (also unter fast 49° n. B.) regulierten Pendeluhr nach Cayenne in Südamerika (etwa 5° n. B.) und fand, dass diese Uhr täglich um 148 Sekunden hinter der

Digitized by Google

dort regulierten Uhr zurückblieb (nachging). Als er das Pendel (um $1^1/_4$ par. Linien, etwa 2,8 mm) verkürzt hatte, so dass die Uhr richtig ging, ging sie nach der Rückkehr in Paris um 148 Sekunden zu früh. Um hieraus auf die Abplattung schliessen zu können, muss man auch die Grösse der Schwungkraft für einen Radius von bestimmter Länge ausdrücken können.

Wir lernten kennen, wie man die Länge eines Meridians annähernd berechnen und dabei auch die Abplattung finden kann. Kennt man mithin genau genug die Gestalt eines Meridians, nämlich als eine Ellipse, so könnte man auch die grosse Axe derselben angeben, d. h. die Entfernung des zu diesem Meridian gehörigen Punktes am Aequator vom Mittelpunkt jener Ellipse, den Erdradius für jenen Ort. Jener Ort muss mithin in 24 Sternstunden einen Kreis beschreiben, vorausgesetzt, dass jener Ellipsenmittelpunkt in der Drehungsaxe der Erde liegt. Unter dieser Voraussetzung wäre mithin die Schwungkraft in jenem Orte ausdrückbar, sobald man überhaupt eine Formel für diese Kraft kennt, in der der Radius massgebend ist. Solche Formel kann man durch rein mathematische Ableitung finden, sie ist (siehe Uebungen), falls die Schwungkraft s heisst und v die lineare Geschwindigkeit der Masse m, oder T die Umdrehungszeit in Sekunden

$s = m \cdot \frac{v^2}{r}$ oder $= m \cdot \frac{4\pi^2 \cdot r}{T^2}$, also das Mass der Schwungkraft ist $\frac{v^2}{r}$.

Da die wirkliche Grösse von g hierdurch vermindert wird, so hat man zur beobachteten Grösse von g

Digitized by Google

die Schwungkraft hinzuzufügen, um die absolute Grösse von g für den betreffenden Ort des Aequators zu finden.

Unter irgend einer Breite φ wirken aber s und g nicht genau entgegengesetzt. Will man die gemeinsame Wirkung erhalten, so muss man erst wissen, wie man die Wirkung zweier unter irgend welchem Winkel zusammengesetzten Kraftstrecken (Grösse der Beschleunigung) durch eine neue Richtung und eine neue in ihr liegende Kraftstrecke ausdrücken kann.

Thatsache. (Parallelogramm der Bewegungen und der Beschleunigungen.) Wenn einem Massenpunkte gleichzeitig zwei Geschwindigkeiten

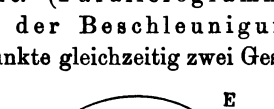


Fig. 9.

AB und AC erteilt werden, die verschiedene Richtungen haben (Figur 9), so nimmt er thatsächlich die Geschwindigkeit AD an, welche Diagonale in einem von den Seiten AB und AC gebildeten Parallelogramme ist. Man gelangt zu dem nach einer Sekunde erreichten Endpunkte, wenn man nach einander sich von A nach B, von B nach D oder von A nach C und von C nach D begiebt. Wenn ein Massenpunkt A gleichzeitig zwei Beschleunigungen AB und AC unterworfen wird, so gelangt er thatsächlich nach dem Endpunkte der Diagonale AD, welche die aus beiden einzelnen (Komponenten) zusammengesetzte (aber nicht addierte) oder resultierende Beschleunigung vorstellt

Digitized by Google

in derselben Zeit, in der er infolge der einzelnen Beschleunigungen nach B bez. C gelangen würde. Natürlich legt der Massenpunkt, wie wir bei der Besprechung des Falles sahen, in der ersten Sekunde einen Weg zurück, welcher gleich der halben am Ende der ersten Sekunde erreichten Endgeschwindigkeit ist. Stellt also A C den Fallraum in der ersten Sekunde vor und A B eine Strecke, welche der Punkt infolge der Schwungkraft in der ersten Sekunde zurücklegen würde, so müsste der im Orte A der Erdoberfläche am Anfange frei schwebende Körper (der sich aus punktartigen Teilchen zusammensetzt) in der ersten Sekunde nach D bewegen. Die Richtung A D ist mithin die wirkliche Richtung, in der ein Körper fallen muss, d. h. die Vertikale.

Soll sich dies Resultat mit unseren früheren Kenntnissen über die Lage der Tangentialebene zur Vertikalen vertragen, so müsste die Erdtangente in A senkrecht auf A D stehen, d. h. die Erde nicht die in der Figur gezeichnete Kugelgestalt, sondern eine entsprechend abgeplattete Gestalt haben.

Dies ist leicht einzusehen, wenn wir verstehen durch Strecken verschiedener Richtung eine Bewegung vorzustellen, die in irgend einer Richtung, z. B. in der Richtung A C einen Widerstand findet.

Thatsache. Findet eine Beschleunigung $A_1 B_1$ in irgend einer Richtung einen Widerstand, z. B. durch die feste Erde in Richtung $A_1 C_1$, so kann man vom Endpunkte B_1 auf die Widerstandsrichtung ein Lot $B_1 E$ fällen und $A_1 B_1$ ersetzt denken durch die Komponenten $A_1 E$ und $E B_1$. Die in Richtung des

Digitized by Google

Widerstandes liegende Komponente setzt sich nun einfach mit dem Widerstande durch Subtraktion bez. Addition zusammen (je nach der Kraftrichtung). In unserem Falle ergiebt sich durch Subtraktion, wenn $A_1 E$ gleich $C_1 E_1$, der Rest der Schwerkraft $E_1 A_1$, und es wirkt die Komponente der Schwungkraft $E B_1$ oder ihre Parallele $A_1 B_2$ nach dem Aequator zu. Beide freien Kraftteile geben zusammen die Resultante $A_1 D_1$, welches dieselbe Grösse ist wie die Resultante AD. Wäre nun die Erde nicht abgeplattet, so würden alle Gegenstände durch die Kraft $A_1 B_2$ nach dem Aequator zu gleiten wollen, was sich sicherlich beim beweglichen Wasser zeigen würde. In Wahrheit ist etwas Derartiges nicht zu verspüren, die Eigentümlichkeit der Erdkrümmung hebt die Wirkung jener Komponente auf, und $A_1 D_1$ steht senkrecht auf der Tangentialebene.

Uebungen 10.

1. Wieso steht die Vertikale oder Lotrichtung unter allen Umständen senkrecht auf der an die Wasseroberfläche gelegte Tangentialebene? 2. Wieso würde auch ein mässig weicher Körper durch Rotation die Kugelgestalt verlieren und sich abplatten? Sollte die Erde einmal weich gewesen sein, so würde sie sich damals ganz von selbst derartig gestaltet haben, dass die Resultante von Schwungkraft und Erdanziehung auf der Oberfläche senkrecht steht — wieso? 3. Wie wirkt die Schwungkraft an den Polen und wie am Aequator mit g zusammen? 4. Würde die Umdrehungszeit der Erde grösser, so würde wieso die Schwungkraft mit der Erdanziehung zusammen eine andere Ver-

Digitized by Google

tikale ergeben? Wieso würden alsdann alle Körper einen Druck nach den Polen zu ausüben? Würde sich die Abplattung dann verändern? Würde es Folgen für die Küsten des Meeres und der grossen Seen haben? Oder gar für die feste Erdkruste? 5. Wenn ein Körper auf dem Kreise mit dem Mittelpunkte M (Figur 10) herumgeschwungen wird, so hat er in jedem Augenblicke das Bestreben mit der Geschwindigkeit v in tangentialer Richtung A P weiter zu eilen — wieso? Wenn nun aber eine hinreichend grosse Kraft vorhan-

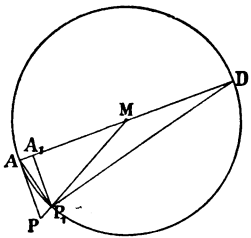


Fig. 10.

den ist, welche jedenfalls sein Fortfliegen von der Kreislinie verhindert, also in Richtung nach M zu zieht, so könnte man annehmen, dass eine Kraft von dem Masse $P P_1$ nach welcher Richtung hin wirkt? Was stellt $P P_1$ genau gesagt vor, wenn A P den geradlinig zurückzulegenden Weg in einer Sekunde vorstellt? 6. Nennt man die durch $P P_1$ gemessene Kraft eine centripetale (d. h. den Mittelpunkt erstrebende), so kann man in wiefern sagen, dass die Schwungkraft eine Centrifugalkraft sei und gleich, aber entgegengesetzt gerichtet jener? [7. Zur mathematischen Ableitung jener Schwung-

Digitized by Google

kraftsformel wird es nötig sein die Centripetalkraft mit der Geschwindigkeit v und dem Kreisradius in Beziehung zu setzen. Nun ist die Figur offenbar nur dann richtig, wenn man nur von einer unendlich kleinen tangential zurückgelegten Strecke AP spricht. Dann aber wirkt die Centripetalkraft gleich von vornherin in Richtung des Radius AM und ergiebt sich durch eine Linie PA_1 parallel zu AP, nämlich als Strecke AA_1. Wieso darf man annehmen, dass $AA_1 = PP_1$ und AP gleich dem Bogen AP_1, gleich der Sehne AP_1? Wieso ist A_1P_1 die Höhe in dem rechtwinkligen Dreiecke AP_1D? Nach welchem Satze ist A_1P_1 die mittlere Proportionale zwischen AD und AA_1? 8. Die Schwungkraft muss in jedem Augenblicke wirken, also entsprechend der Erdanziehung in jedem Augenblicke gewissermassen kleine Antriebe versetzen, die sich summieren zu einer Beschleunigung. Man darf also die Schwungkraftstrecke AA_1 ebenso ausdrücken wie eine durch eine entsprechend grosse Schwerkraft, nach dem Galileischen Gesetze entstehende Fallstrecke. Setzen wir also $AA_1 = \frac{x}{2} . t^2$, so haben die benutzten Buchstaben dabei welche Bedeutung? Wieso ist dann AP^3 gleich $v . t$? Wieso ergiebt sich, wenn AD gleich $2r$ ist, die Formel $x = \frac{v^2}{r}$? Hat der bewegte Körper die Masse m, so wird man die Grösse der durch die Schwungkraft bewirkten Beschleunigung (die natürlich nur vorgestellt ist, da sie geradlinig nie zum Vorschein kommt) $x . m$ sein? Was würde geschehen, wenn plötzlich die Erdanziehung verschwände? 10. Ist T die Anzahl der

Digitized by Google

Sekunden, in welchen der ganze Kreis $2r\pi$ zurückgelegt wird, also $2r\pi = T.v$, so ergiebt sich, welche v nicht mehr enthaltende Formel für x?]

11. Das Mass der Zeit und die Erdmasse.

Wir sind jetzt in den Stand gesetzt, die Feststellung des Zeitmasses zu verstehen. Freilich sprechen wir auch jetzt nur von Sternzeit; der im gewöhnlichen Leben vorkommende Tag richtet sich nach der Sonne und stimmt, wie wir später sehen werden, nicht genau mit dem Sterntage überein. Ein Sterntag enthält 86400 Sekunden und zwar Sternsekunden oder Sekunden-Sternzeit, die hierdurch definiert sind. Es fragt sich, wie wir eine Sternsekunde praktisch bestimmen. Zeigt eine Pendeluhr zwischen 2 aufeinanderfolgenden oberen Kulminationen eines Fixsternes 86400 Pendelschläge oder auf dem Zifferblatte 24 Stunden oder 86400 Sekunden, so müsste jeder Pendelschlag, falls diese untereinander gleich sind, oder ein Sekundenzeiger zum entsprechenden Vorrücken eine Sekunde gebrauchen. Natürlich könnte auch eine kürzere Zeit zur Beobachtung gewählt werden und eine entsprechend kleinere Anzahl von Pendelschlägen; oder es könnte ein Uhrpendel mehr Schläge machen, so dass eine Hinschwingung desselben einem Bruchteil einer Sternsekunde entspricht. Heute pflegt man zu beobachten, wie ein Stern durch parallele Spinnenfäden hindurchrückt, löst, sobald er in die Richtung eines bestimmten Fadens tritt, elektrisch eine Vorrichtung aus, die auf einem regelmässig durch eine Uhr ablaufenden Papier-

Digitized by Google

streifen eine Marke macht. Man treibt so die Zeitunterscheidung mit Sicherheit bis zu 0,01 Sekunde.

Lässt man an demselben Orte, wo jene Uhr geht, ein freies möglichst mathematisch genaues Pendel schwingen, so dass es genau denselben Takt innehält oder nach einer bestimmten Anzahl der Schläge des Uhrpendels dieselbe Anzahl gemacht hat (wobei in den einzelnen Schwingungsdauern Abweichungen vorkommen können infolge der Unregelmässigkeiten bei der Uhreinrichtung), so heisst dies freie Pendel ein Sekundenpendel (nach Sternzeit). Dann ist zu setzen $\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 1$, woraus die Grösse der zur Wirkung kommenden Erdkraft g an dem betreffenden Orte zu berechnen ist, nachdem man l genau gemessen. Transportiert man die Pendeluhr fort, entweder nach einem höheren Orte oder nach einer anderen g. Br., so muss — wie schon die Erfahrung Richer's zeigte — die Uhr falsch gehen; also nimmt auch das wirkliche Sekundenpendel für den neuen Ort eine andere Länge an, es wird $\pi \sqrt{\frac{l_1}{g_1}} = 1$, woraus die Grösse von g_1 für den neuen Ort folgt.

Es hat z. B. das Sekundenpendel für Berlin die Länge 994,3 mm, für den Aequator 991 und der Berechnung nach für den Pol 996 mm, im allgemeinen also etwa ein Meter Länge.

Man muss bei Bestimmung an die Grösse der Erdanziehung, aber auch an die Schwungkraft sowohl wie an die Veränderung des Abstandes vom Erdschwerpunkte (siehe Uebungen!) denken. Es ist z. B. g für Berlin = 9,8126 m, für den Aequator (im Meeres-

Digitized by Google

niveau) 9,7806, für den Pol 9,8310 m; im allgemeinen also abgekürzt der Fallraum in der ersten Sekunde etwa 4,9 m.

Nachdem man die Länge der Breitengrade durch Messungen nach einer Methode gefunden, die wir kennen lernten, auch die Länge einiger Erdmeridiane fand, konnte man bereits Schlüsse auf die Abplattung machen, auch erkennen, dass die sogenannten Parallelkreise nahezu mathematische Kreise sind, die Erde also von O nach W nicht sehr wesentliche Krümmungsabweichungen von der Kugel zeigt. Die Länge eines Längengrades kann man nur mit Hilfe einer mitgeführten guten Uhr und Triangulation ebenfalls berechnen. Die Feststellung der geogr. Länge kann also erfolgen: wenn man ein Chronometer mitführt, das sehr zuverlässig ist, also nach einer Pendeluhr und zwar nach der Zeit eines bestimmten Ortes, am besten des Meridians von Greenwich geht, ferner die Kulminationszeit eines Fixsternes am neuen Orte genau bestimmt und in einer Tabelle nachschlägt, wann das betreffende Gestirn im Meridian von Greenwich kulminiert. Natürlich kann statt der Kulmination auch eine andere Erscheinung am Himmel benutzt werden, die an verschiedenen Orten zu verschiedenen Zeiten sichtbar ist. Tritt die Kulmination z. B. am neuen Orte 1 Stunde später ein, so befindet man sich 1^h westlich vom Nullmeridian. Selbstverständlich braucht man endlich Karten, um zu wissen, in welcher Land- oder Meeresgegend der Ort von gefundener Länge und Breite liegt. Wir verstehen jetzt, wie man dahin gelangen konnte, die folgenden Masse zu berechnen.

Digitized by Google

Ein Breitengrad in der Nähe des Aequators beträgt etwa 110,5 km, an der Ostseeküste 111,3 und am Pol 111,7 km. Der vierte Teil eines Erdmeridian (ein Erdmeridianquadrant) beträgt nicht 10 000 000 m, wie man am Ende des vorigen Jahrhunderts zur Definition des Meters annahm, sondern (nach Bessel) 10000855,764 m.

Ein Längengrad am Aequator beträgt 111,307 km oder 15 geographische Meilen, wodurch die geographische Meile definiert ist. Dieselbe (kurz Meile genannt) beträgt 7420,44 m. Die Länge des Aequators oder der Erdumfang unter der Breite 0 ist 5400 Meilen oder 40070 km.

Man nimmt nach den meisten Messungen an, dass der Aequator nahezu ein Kreis ist mit einem (grössten) Erdradius von 859,5 Meilen oder 6377,4 km, (nach anderen neuen Messungen soll auch er eine Ellipse sein mit einem längeren Halbmesser von 6378,3 km und einem etwas kürzeren von 6377,86 km). Die im allgemeinen als übereinstimmend angenommenen Meridiane der Erde sind Ellipsen mit einer (dem Aequatorradius natürlich gleichen) grösseren Halbaxe a und einer kleineren b, welche also der Polradius der Erde ist.

$$a = 6377{,}4 \text{ km}$$
$$b = 6356{,}1 \text{ km}.$$

Die Differenz ist 21,3 (bis 23) km; um das doppelte hiervon ist also die Erdaxe kürzer als der Aequatordurchmesser. Unter Abplattung versteht man den Bruch, der angibt, der wievielte Teil jene Radiendifferenz vom Aequatorhalbmesser a ist, d. h. das Verhältnis jener Differenz zu a. Sie beträgt nahezu

$$\frac{a - b}{a} = \frac{1}{299}.$$

Digitized by Google

Da noch vielfach andere Masse vorkommen, sei noch hinzugefügt, dass eine Seemeile der vierte Teil einer geographischen ist; eine englische Meile beträgt 1609,33 m, eine preussische 7532,48 m. Ein Fuss preussisch ist = 0,31385 m, also 1m = 3,1862′. Auch in Toisen findet man viele Angaben; 1 Toise = 1,9490 m, eine geographische Meile = 3807,23 Toisen.

Uebungen 11.

1. Man merke sich genau die Grössen von g am Aequator, dem Pol und in Berlin, die Länge eines Breitengrades am Aequator und Pol, eines Längengrades am Aequator in Kilometern, letztere auch in Meilen, die Beziehung zwischen m und Meile, die Länge des grössten Erdradius in Meilen, die Differenz des grössten und kleinsten Erdradius und den Bruch der Abplattung. 2. Wenn man an einer Stelle irgend eines Gegenstandes einen Faden befestigt und den Gegenstand am Faden hängen lässt, so nimmt er eine bestimmte Lage ein, die Vertikale geht durch bestimmte Punkte desselben. Hängt man ihn nun durch Befestigung an einer zweiten Stelle wieder auf, so geht die Vertikale durch andere Punkte des Körpers. Der Schnitt jener beiden durch die jedesmaligen Vertikalen bestimmten Linien ist wieso derjenige Punkt, in welchem man sich die Anziehungskraft der Erde angebracht denken kann. Was ist also der Schwerpunkt eines Körpers? Was kann man über ihn und die Erdanziehung sagen, wenn man einen Körper fallen lässt? 3. Wieso besitzt jeder Gegenstand auf der Erde oder überhaupt auf einem anziehenden Weltkörper einen

Digitized by Google

Schwerpunkt und wieso muss derselbe unverändert bleiben, wenn man sich denselben Körper auf verschiedenen anziehenden Weltkörpern denkt? 4. Wieso wird auch die Erde selbst einen Schwerpunkt haben (man denke sich die Erde als einen in der Nähe eines noch viel grösseren Körpers befindlichen Gegenstand)? 5. Wo liegt der Schwerpunkt einer Kugel? 6. Wieso wird der Schwerpunkt der Erde im Mittelpunkt des Aequatorkreises oder der Aequatorellipse liegen, wenn beide Erdteile nördlich und südlich von der Aequatorebene gleich gross sind (und gleich schwer)? Wieso dürfen wir letzteres annehmen? 8. Wieso wird die Erde, abgesehen von der Schwungkraft, alle Gegenstände nach ihrem Schwerpunkte zu ziehen suchen? Wieso weicht die Vertikale vielfach von dieser Richtung ab? Is g ein ganz sicherer Ausdruck für die Schwere der Erde (man denke auch an die verschiedenen Werte von g)? 9. Man drücke a—b, auch einige Breitengrade durch geog. M. aus. 10. Wieviel Minuten etwa gebraucht ein guter Fussgänger, um 1 km zurückzulegen? Wie gross ist die Geschwindigkeit irgend eines Erdpunktes am Aequator infolge der Rotation? Man vergleiche diese Geschwindigkeit mit einigen anderen bekannten Geschwindigkeiten? 11. Was ist ein Globus? Was ist ein Reliefglobus? Hat der höchste Berg der Erde eine Höhe von 8,840 km, so ist er auf einem Reliefglobus vom Radius 1 m wie hoch darzustellen? (weniger als 1 mm).

[12. Kann man ein ebenes Blatt Papier in Kugelkrümmung bringen? Kann man die Schale einer Kugel (Apfel) auf einer ebenen Tischplatte ausbreiten?

Digitized by Google

13. Der Deutsche Kremer (lat. Mercator) hat 1569 die eigentlich kugelig darzustellende Erdoberfläche auf einer Ebene nach folgender Methode gezeichnet (Merkatorentwurf): Man lege einen Papiercylinder so um den Globus, dass er überall den Aequator berührt und denke sich die Meridianebenen und die Ebenen der Parallelkreise verlängert, bis sie den Cylinder schneiden. Rollt man nun den Cylinder ab, nachdem man ganz entsprechend auch die Länder und Meere etc. auf das Papier übertragen denkt, so hat man eine Erdkarte, auf der das Gradnetz rechtwinklig ist. Aber die Figuren der Länder etc. sind sehr verzerrt, wie breit würde der Pol erscheinen? Verbreitet man aber die Breitengrade in derselben Art, wie die Längengrade unnatürlich werden, so werden zwar die Länder am Pol zu gross, aber ihre Gestalt wird doch winkeltreu, d. h. nicht mehr in sich verzerrt. Allerdings würde der letzte Grad am Pol ganz ungeheuer (wie sehr?) verbreitert werden müssen. So entsteht eine Merkatorkarte, wie sie noch heute von den Seefahrern gebraucht wird. 14. Wieso muss man um den Radius eines Parallelkreises zu erhalten, die entsprechenden Aequatorgrössen mit dem cosinus der g. Br., falls die Erde eine genaue Kugel ist, multiplizieren? Wieso muss man bei einer Merkatorkarte die Grade aller Parallelkreise (und überhaupt die Dimensionen in solchen Gegenden der Karte) durch den cosinus der g. Br. dividieren (mithin vergrössern), um die entsprechenden Dimensionen am Aequator zu erhalten? Wieso sind also Seekarten auch in dieser Beziehung brauchbar? 15. Der nicht astronomisch gebildete und

Digitized by Google

ausgerüstete Seefahrer pflegt sich auf seiner Karte die Richtung anzugeben, in der er fährt, dann bei jeder Wendung (zu beurteilen durch den Kompass) die entsprechende Abweichung auf der Karte zu machen und nach Beurteilung seiner Schiffsgeschwindigkeit die Länge der einzelnen Strecken auszurechnen. Wieso ist diese Methode sehr unzuverlässig? 16. Besitzt man eine Tabelle über die Abstände eines unter den Fixsternen beweglichen Gestirnes wie des Mondes von irgend einem anderen, in seiner Lage bekannten Gestirnes oder von vielen zu bestimmten Tag- und Nachtzeiten zu Greenwich, so kann man das mitzunehmende Chronometer entbehren bez. dasselbe kontrollieren, indem man für die Beobachtungsstunden oder den Tag irgend eine gute Uhr nach Ortszeit gehen lässt (dies ist mittelst der Sonne oder der Kulmination irgend eines bestimmten Sternes, der auch in Greenwich zur Ortszeit benutzt wurde, möglich — wie?), und damit und mit Massinstrumenten die Ortserscheinungszeit eines beobachteten Gestirnabstandes feststellt. Wieso hat man nun nur nötig, diese Ortszeitangabe mit derjenigen zu vergleichen, welche für denselben Winkel in der Greenwichtabelle steht? 17. Wieso werden Tabellen über die Zeiten von Verfinsterungseintritten (siehe später bei Mond und Sonne, Jupiter etc.) dem Seefahrer nützlich sein? 18. (Aufsatz.) Wie findet man sich auf dem Meere zurecht und wieso hat man je nach Umständen mehrere Methoden zu benutzen (z. B. wie ist die Breite durch Beobachtung einer Abendweite und Ablesen der Deklination des betreffenden Gestirnes aus einer Tabelle bestimmbar?)]

Digitized by Google

12. Die Sicherheit der grundlegenden Schlüsse.

Die mathematische Geographie erlaubt ein Eingehen auf die Sicherheit der einfachsten Begriffe und der einfachsten Schlüsse und fordert dazu heraus. Zwar ist es nur Sache der Philosophie, das Wesen der Elemente unserer geistigen Thätigkeit oder unserer Anschauung, das Wesen von Zeit, Raum und Zahl zu ergründen, aber doch müssen wir uns möglichst klar darüber werden, welche einfachsten Schlüsse etwa von den übrigen unabhängig sind, welche gewissermassen das Fundament aller anderen bilden. Wir sahen, welchen Schwierigkeiten man schon beim Feststellen einer Längeneinheit begegnet. Wir brauchen dieselbe, um überhaupt irgend welche Angaben über Bewegungen machen zu können. Aber auch der Begriff der Zeiteinheit ist schon nötig, um die Geschwindigkeit zu definieren. Und doch wussten wir lange nicht, was wir Zeiteinheit nennen sollen, und ob wir imstande sind, die Zeiteinheit an jedem Orte und zu jeder Stunde wieder zu finden. Erst eine ganze Reihe von Schlüssen liess uns die Zuverlässigkeit der Uhr und der Pendelschwingungen erhoffen. Es genügt nicht, ein möglichst mathematisches Pendel irgendwo einen Hingang machen zu lassen, um eine Sekunde zu erhalten. Wir wussten nicht einmal ohne weiteres genau, ob ein sogenanntes Sekundenpendel auch wirklich dieselbe Zeit zu jeder Schwingung gebraucht; und wenn schon Galilei dies als ein Gesetz aufstellte, so mussten wir uns doch fragen, ob er Recht hatte, und wie man zur genauen Feststellung eines solchen Gesetzes kommen kann. Womit soll man das Pendel wieder vergleichen, um die

Digitized by Google

Gleichheit seiner Schwingungen an einem anderen — sichereren — Massstabe zu beurteilen?

Die Beobachtung der Gestirnbewegung scheint uns dafür das beste Mittel zu sein. Aber auch die Drehung des Himmelsgewölbes und der Sterntag sind doch nicht etwas einfach Selbstverständliches — wer sagt uns, ob die scheinbare Gleichmässigkeit der Drehung genau besteht? Sollen wir nun wieder umgekehrt zum Pendel unsere Zuflucht nehmen? Es wird vom höchsten Interesse für die Beurteilung der Sicherheit aller exakten Wissenschaften sein, einmal bei dieser Gelegenheit, die den Grund zu aller Messung der Natur liefert, eine genauere Untersuchung der dazu nötigen Ketten von Gedanken anzustellen, ehe wir fortfahren, den Ausbau der mathematischen Geographie weiter zu verfolgen.

Bei der Vergleichung der am Himmel stündlich beschriebenen Kreisbogen setzen wir voraus, dass ein aus Stoffen z. B. Stäben hergestellter Winkel nach seiner Verlegung im Raume noch derselbe ist, falls keine besonderen Umstände dabei eintraten (z. B. Erhöhung der Temperatur), welche die räumlichen Stoffe verändern (wie man auf vielen Wegen, nach vielen Beobachtungen geschlossen hat). Zur Vergleichung der Zeit benutzen wir die Pendeluhr. Das Pendel der Uhr ist kein freies Pendel, sondern unterliegt manchen Nebenumständen, wie die verschiedene Krümmung der Zähne des letzten Rades, der verschieden starke Anstoss infolge der Gewichtskraft zur Ueberwindung der Reibung und des Luftwiderstandes sind, aber das wesentliche ist doch die Pendellänge, die allerdings möglichst dem veränderten Einflusse der Wärme etc.

Digitized by Google

zu entziehen ist. Das Galileische Gesetz, nach welchem ein mathematisches Pendel stets dieselbe Zeit (!) zu einem Hin- oder Hergange gebraucht, falls die Länge und die Grösse der Erdanziehung dieselbe bleibt, kann man empirisch nur wieder durch Vergleichung mit anderen Instrumenten ähnlicher Art, die dann freilich den ähnlichen Umständen unterliegen, oder anderer Art, etwa einer schwingenden Stimmgabel, festzustellen suchen. Die Gleichheit der Zeit jeder einzelnen Schwingung ein und derselben Stimmgabel ist wieder nur durch sich selbst, durch Instrumente gleicher Art oder anderer Art festzustellen.

So müssen wir schliesslich irgend einen Apparat oder einen natürlichen Vorgang für am exaktesten halten. Ist dies das Pendel, so ist sicherlich der ändernde Einfluss der Grösse g genau zu berücksichtigen. Dass aber die Pendeluhr am Aequator langsamer geht als in höheren Breiten, z. B. 148 Schwingungen weniger macht am Tage (!), beurteilen wir wieder nach der Annahme, die Umdrehung des Himmels erfordere dieselbe Zeit. Damit sind wir wieder vollkommen am Anfange angelangt, haben unsere unbewiesene Voraussetzung benutzt, um sie zu beweisen, sind im Kreise herumgegangen, haben einen Zirkelschluss gemacht. Gleichwohl wird niemand bestreiten, dass der Himmel oder umgekehrt die Erde gleichmässig rotiere, oder wenigstens nicht, dass wir bei dieser Annahme zu richtigen wissenschaftlichen Resultaten und Berechnungen kommen können. Da wir die Fähigkeit besitzen, uns überhaupt gleiche Räume und Zeiten vorzustellen, so fragt es sich, welche Eindrücke aus der

Digitized by Google

realen Welt derart sind, um uns zu veranlassen zu dem Gedanken, die dabei erscheinenden Zeiten wären gleich. Sicherlich erklären wir viele uns erscheinende Zeiten, z. B. die ungleich langer Pendel für ungleich, sobald sich uns ein den Sinnen höchst auffälliger Unterschied aufdrängt. Sobald uns gewisse Zeiten, verglichen mit allen übrigen möglichst genau bestimmbaren und unterscheidbaren Zeiten, immer wieder bei allen erneuten Vergleichen am genauesten gleich erscheinen, werden wir sie gleich nennen (!). Es ist uns aber unmöglich, von vornherein mit der Voraussetzung ihrer Gleichheit anzufangen und danach alles übrige zu beurteilen, nein erst nach oft wiederholter Vergleichung z. B. des Sterntages mit der Pendeluhr, und dieser mit dem freien Pendel können wir uns dahin entscheiden, einer bestimmten Erscheinung die vollkommenste Gleichartigkeit zuzuschreiben, die es für uns gibt. Eine solche Erscheinung ist die Rotation der Erde. Zwar haben wir Grund an eine erst in ungeheuren Zeiträumen bemerkbare Abnahme der Umdrehungszeit zu glauben, aber dies werden wir nur durch Vergleichung mit ähnlichen Erscheinungen und deren Folgen schliessen. (Der Mond dreht uns dieselbe Seite zu, Ebbe und Flut wirken der Erddrehung entgegen etc., siehe später!). Es ist unmöglich, mit irgend einer, auch noch so einfachen Bewegung den absoluten Anfang zu machen, immer muss man sich vorbehalten, die erste Annahme wieder zu prüfen und zu verbessern. Die Physik und ebenso die Astronomie hat in diesem Sinne keinen Anfang. Ihre Untersuchungen bewegen sich in Kreisen, die sich oft durchschneiden und stets

Digitized by Google

wieder ein Zurückkommen auf die ersten Kreiswege erlauben.

Man könnte behaupten, man dürfe diesen Wissenschaften darum keine mathematische Sicherheit zuschreiben. Aber auch in der Mathematik gibt es gewisse Ziele, welche man niemals genau erreichen kann und welche man doch als erreicht betrachten darf. Ein periodischer Dezimalbruch wie 0,333 . . . geht in das Unendliche, er bedeutet ja $^3/_{10}$ plus $^3/_{100}$ plus $^3/_{1000}$ u. s. w., und obwohl wir die Addition von diesen unendlich vielen Brüchen niemals ganz zu Ende führen können, wissen wir doch, dass nicht etwa eine unendlich grosse Summe herauskommt, sondern dass diese unendliche Reihe sich auf das Genaueste an den Wert $^1/_3$ anschliesst, und zwar um so genauer, je mehr Glieder wir zusammenrechnen. Solche unendlichen Reihen nennt man konvergent, hinneigend zu einem ganz bestimmten Zahlenwerte; wir können uns darauf verlassen, dass unser Ziel, nämlich der Bruch $^1/_3$ richtig erreicht ist. Wenn eine höchst sorgfältig konstruierte Pendeluhr, sobald wir sie gehen lassen, immer wieder die Länge des Sterntages durch dieselbe Anzahl von Zahnvorrückungen angibt, wenn wir die Ursachen ihrer Abweichungen durch andere Schlüsse und Vergleiche finden können, so liegt in solcher gegenseitigen Kontrolle und Bestätigung eine Gewähr dafür, dass wir unser Ziel, die Beurteilung gleicher Zeiten bei Naturerscheinungen, mit wünschenswerter Annäherung erreichen. Die erwähnten Kreisschlüsse darf man demnach vergleichsweise konvergent nennen (nach einem Ausspruche des Direktors der Berliner Sternwarte, Herrn Geh. Rat Prof. Förster).

Digitized by Google

13. Die scheinbare Sonnenbewegung.

Nachdem wir in den Stand gekommen, die Erde auszumessen und uns darauf zurecht zu finden, scheint es, als ob wir an der weiteren Beobachtung des Himmels nur ein theoretisches Interesse hätten. Gewisse Gestirne wie Sonne, Mond, der Abendstern etc. haben die Menschen schon in Urzeiten derart angezogen, dass sie denselben die grösste Aufmerksamkeit und sogar Verehrung gewidmet haben, und es ist seit Jahrtausenden Aufgabe einer Wissenschaft, der Astronomie, alles mögliche über die uns sichtbaren sämtlichen Gestirne auszusagen. Aber auch in der eigentlichen mathematischen Erdbeschreibung können wir die Beobachtung der Sonne nicht entbehren. Sie ist nötig zur Einteilung in Tag und Nacht, in Jahreszeiten mit verschiedener Wärme und einem völlig veränderten Bilde des Aussehens der Erdoberfläche, endlich zur Unterscheidung der Zonen.

Es wird da unser natürliches Bestreben sein, die Bewegung derselben mit derjenigen der Fixsterne zu vergleichen. Nun scheinen die Sterne gewöhnlich nicht zur selben Zeit wie sie, indessen kann man mit Fernröhren die helleren Fixsterne auch am hellen, klaren Tage beobachten, jedenfalls aber mit Hilfe einer Sternuhr die Stellung derjenigen Sterne, welche 12 Stunden später als die Sonne dieselbe Höhe und dasselbe Azimut haben, z. B. um Mitternacht in der Mittagshöhe der Sonne kulminieren, und da man einen Sternenglobus herstellen kann, so kann man durch solche Beobachtung auch stets den auf der Himmelskugel genau entgegengesetzten Ort desselben Parallelkreises finden, in dem

Digitized by Google

zwischen den Sternen die Sonne stand. Beobachtet man nun die Sternbilder nahe der Sonne mehrere Tage hintereinander am Westhimmel kurz nach Sonnenuntergang, so bemerkt man, dass es nicht dieselben sind, vielmehr die Sternbilder immer mehr nach W hin über die Sonne hinausrücken, sodass ein Sternbild, welches man erst noch kurz nach Sonnenuntergang westlich sah, nach einiger Zeit am Osthimmel vor dem Aufgang der Sonne erscheint; oder mit anderen Worten, dass die Sonne unter den Sternen nach Osten hin zurückbleibt. Die Sonne dreht sich also langsamer als der Sternenhimmel scheinbar um die Erde.

Thatsache. Die Sonne bleibt täglich um etwa 4 Minuten oder einen Grad nach Osten zu unter den Sternen zurück.

Schluss. Die Sonne hat unter den Sternen eine Eigenbewegung und zwar etwa nach Osten zu.

Wir werden damit die noch viel auffälligere Erscheinung verbinden, dass die Sonne thatsächlich zu verschiedenen Zeiten in verschiedener Höhe am Himmel kulminiert und dementsprechend an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Tageszeiten auf- und untergeht.

Thatsache. Die Sonne hat bei uns unter einer geographischen Breite von 52,5° mittags einen beobachtbaren niedrigsten Stand von etwa 14° und einen höchsten von etwa 61°, dazwischen an zwei Tagen einen Stand von 37,5°, d. h. die Höhe des Aequators.

Namenfestsetzung. Man bezeichnet die Zeit, in welcher die Sonne den niedrigsten Stand hat, als Wintersanfang, da sich um diese Zeit die Periode

Digitized by Google

der grössten Kälte für die nördliche Halbkugel einzustellen pflegt, den Eintritt der grössten Höhe als Sommersanfang, die Zeiten der Aequatorhöhe der Sonne als Frühlings- und Herbstanfang; oder, damit diese Bezeichnungen auch für die südliche Halbkugel gelten, wählt man die Namen der nördlichen und südlichen Wendepunkte, nennt den Parallelkreis auf der Erde, in dem zu diesen Zeiten die Sonne mittags senkrecht scheint, den nördlichen Wendekreis (des Krebses) und den südlichen (des Steinbocks — nach Sternbildern), ferner heissen jene dazwischen liegenden Tage die Tag- und Nachtgleichen (Aequinoktien, lat.) und diejenigen Punkte des Himmelsäquators, in denen dann die Sonne erscheint, die Tag- und Nachtgleichenpunkte.

Schluss. Die Sonne bewegt sich von Wintersanfang an unter den Sternen zugleich nach Norden und nach Osten, also in einer zwischen N und O liegenden Richtung, von Sommersanfang an zugleich nach Osten und Süden. Nennen wir einen wahren Sonnentag die Zeit, welche vergeht zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kulminationen der Sonne, so ist derselbe länger als ein Sterntag um eine, im einzelnen festzustellende Anzahl von Sternsekunden. Nennen wir ein Sonnenjahr die Zeit, welche vergeht zwischen den Augenblicken, in denen die Sonne zweimal hintereinander etwa den südlichsten Punkt unter den Sternen erreicht, so besteht dasselbe aus irgend einer ganzen oder vielleicht gebrochenen Anzahl von Sterntagen.

Es wird uns sehr wichtig sein, die Stellung der Sonne von Ort zu Ort das ganze Jahr hindurch zu ver-

Digitized by Google

folgen. Selbstverständlich hat man dies seit langen Zeiten gethan und Folgendes gefunden.

Thatsache. Die Sonne bewegt sich dem Anscheine nach im Laufe eines Jahres in einem Kreise am Himmel (Ekliptik oder scheinbare Sonnenbahn), welcher nicht parallel zum Aequator ist, sondern denselben zweimal in zwei entgegengesetzten Punkten, den Aequinoktien, durchschneidet, und dessen Ebene mit der Aequatorebene einen Winkel von 23° 27′ (die Schiefe der Ekliptik) bildet. Die nahezu 47 Grad breite Zone auf der Erde zwischen den Wendekreisen nennt man die heisse, die durch 2 Parallelkreise, $23\frac{1}{2}°$ von den Polen entfernt (den Polarkreisen), um die Pole abgegrenzten Zonen heissen kalte Zonen. Dazwischen liegt die südliche und nördliche gemässigte Zone.

Uebungen 13.

1. Welche Breite hat jede gemässigte Zone? 2. Man stecke durch eine durchbohrte Glaskugel (Gasglocke) einen Stab (Weltaxe) mit aufgestecktem Gummiball (Erde), und klebe mittels Wachs darauf bunte Papierstreifen als wichtige Linien, z. B. Aequator und Ekliptik. Wie hält man den Apparat, damit die Ekliptik schief liegt? Man merke für die folgenden Fragen die Regeln: Ueberall geht der Aequator durch O- und W-Punkt, überall hat sein höchster Punkt die Höhe 90 minus g-Br., überall geht der tägliche Lauf der Sonne parallel zum Aequator. Oder: man zeichne die Axe der Ekliptik von unten nach oben, also das nördliche Ende der Erdaxe um 23,5° nach links geneigt und lege Bündel wagerechter Sonnenstrahlen von rechts (Winter), hinten, links (Sommer), vorn; Regel:

Digitized by Google

immer halbiert die Lichtgrenze den Aequator, nur zu den Aequinoktien die Parallelkreise. Wo steht die Sonne mittags und abends für die Gegend der beiden Wendekreise zu verschiedenen Jahreszeiten? 3. Wo ist die Aequatorhöhe gleich der Schiefe der Ekliptik, und wo steht die Sonne hierselbst mittags am Tage des Herbstanfanges? 4. Wie erscheint die Sonnenbahn für den nördlichen Polarkreis bei Sommersanfang? Welche Höhe und welches Azimut hat die Sonne alsdann mittags für den südlichen Polarkreis? 5. Was bedeutet das Wort Mitternachtssonne, wohin muss man reisen, um sie zu sehen? 6. Man beschreibe den Lauf der Sonne, die Verhältnisse von Tag und Nacht während des Jahres am Nordpol und am Aequator. Es sei am Erdäquator morgens 6 Uhr; wie weist man mit dem Finger die Ekliptik entlang für die Hauptdaten (genaue Himmelsrichtungen!)? 7. Warum erwärmt die Sonne die Erde mehr, wenn sie höher am Himmel steht? (Man stelle sich einen mit Sonnenstrahlen gefüllten Cylinder vor und denke ihn durch verschieden gerichtete Ebenen durchschnitten.) 8. Wieso ist es für das Klima wesentlich, wie lange täglich die Sonne scheint? 9. Wie lange scheint bei uns die Sonne zur Zeit des Aequinoktiums, wo geht sie auf und unter (von der Strahlenbrechung abgesehen)? Wie gross ist zu derselben Zeit die Tageslänge am Aequator? Wie läuft die Sonne dann an den Polen? 10. Wie kommt es, dass bei uns der Tag bei Sommersanfang am längsten (etwa 17^h) ist? Wo etwa geht die Sonne unter? 11. Bekanntlich verbraucht das Wasser zur Erwärmung bestimmte Mengen von Wärme, ähnlich das Eis zum Schmelzen. Wieso verbraucht das

Digitized by Google

Wasser, wenn es gefriert, gewisse Kältemengen? Wieso kann man dafür sagen, es gäbe Wärme ab? Wieso ist der Winter in wasserreichen Gegenden nicht so streng wie in wasserarmen bei sonst gleichen Verhältnissen? Weshalb wird es in der Gegend der Pole nicht so kalt werden, wie in gewissen im Festlande liegenden Stellen geringerer Breite? Wie kommt es, dass in Jakutsk an der Lena im Sommer eine Hitze von gegen 39° C. vorkommt, obwohl das Land nur oberflächlich erwärmt wird, im Boden sich Eis hält und im Winter die Kälte bis auf über 60° C. steigen kann (in Singapore am Gleicher wird es nicht heisser als etwa 34° C.)? 12. Wie würde es mit Tag und Nacht und den Jahreszeiten stehen, wenn die Sonne stets dieselbe Deklination hätte? Wieso ist ihre Bahn spiralig? 13. Stände die Sonne bei uns immer im Mittage, so würde sie welche Bahn im Laufe des Jahres beschreiben? 14. Drehte sich die Erde nicht, so würde die Sonne welche Bahn scheinbar am Himmel beschreiben? Wieviel Tage hätten wir dann im Jahre und von welcher Länge? Wie lang wäre der Tagesbogen? 15. Man zeichne die Himmelskugel mit Aequator und Ekliptik, dann noch einmal, nachdem sie sich 12 Stunden lang gedreht hätte, und vergleiche die Lagen der Ekliptik. 16. Reguliert man eine Uhr nach Sternzeit, und bliebe die Sonne nicht nach Osten zurück, wo müssten wir sie nach 12 Stunden suchen, wo nach einem halben Jahre? 17. Man richte sich nach einer Uhr, die genau wie die Sonne geht, also den Verlauf von 24 Stunden zeigt, wenn die Sonne wieder dieselbe Höhe erreicht hat. Wie kommt es alsdann, dass ein Fixstern, der um 12 Uhr nachts kulminierte, das nächste Mal schon früher

Digitized by Google

kulminiert? Es stehe das Sternbild des grossen Bären zur Zeit einer Beobachtung um Mitternacht unterhalb des Polarsternes, wie kommt es, dass dasselbe ein halbes Jahr später zur selben Nachtzeit in anderer Stellung (wo?) gesehen wird? 18. Warum weist der gestirnte Himmel bei abendlicher Beobachtung im Herbste eine zur Frühjahrslage gedrehte Stellung auf? 19. Wieso kann man mittelst einer genau nach der Sonne gehenden Uhr nachweisen, dass die Sterne täglich nach W zu voreilen? 20. Kann man mit solcher Uhr so nach Westen zu reisen, dass ein Stern täglich zur selben Uhrzeit kulminiert? Wieso kann man mittels einer solchen Uhr feststellen, um wieviel man weiter westlich gereist ist (ungefähr)? 21. Wo steht ein Stern nach einem Vierteljahre um Mitternacht, wenn er am Anfang dieses Quartals im Meridian gestanden hat? 22. Wie kommt es, dass die Sonne auf einem hohen Berge später untergeht, als unten? Was ist Dämmerung? Warum ist sie am Aequator kurz? Ist die fast halbjährige Polarnacht oder die zwölfstündige Aequatornacht dunkler?

14. Der Frühlingspunkt als Anfangspunkt.

Für die Bestimmung eines Sternortes am Himmel haben wir zwar den Aequator als Anfang der Deklination, die also der geographischen Breite auf der Erde entspricht, aber für die Ausmessung von Osten nach Westen fehlte es uns an einem Anfangsmeridian. Wir müssten auch am Himmel einen Meridian als ersten bezeichnen und zwar kann uns hierfür der auf der Erde gewählte nicht nützen, da Erde und Himmel immerfort ihre Lage zu einander infolge der Rotation verändern.

Es wäre am besten, auf dem Himmelsaequator einen

Digitized by Google

Punkt ausfindig zu machen, welcher sich vor allen anderen auszeichnet. Ein solcher Punkt ist ohne Zweifel die Stelle, in welcher der Sonnenmittelpunkt etwa an dem Tage erscheint, wo man auf der Erde Tag- und Nachtgleiche hat; man wählte nicht das Herbstäquinoktium, sondern das Frühlingsäquinoktium und nennt den Punkt, der am Himmel heute im Sternbild der Fische erscheint, (auf dem Aequator, in den die Sonne im bestimmten Augenblicke tritt), kurz den Frühlingspunkt F. Allerdings hat sich herausgestellt, dass derselbe nicht im Laufe von Jahrhunderten an derselben Stelle bleibt, aber da er sich nur sehr langsam ändert, ist er doch nahezu als fester Punkt anzusehen. Jedenfalls ist er in jedem Jahre auffindbar und kann darum einen guten Anfangspunkt abgeben. Entsprechende Punkte auf allen Parallelkreisen am Himmel erhält man, wenn man den durch ihn gehenden halben Deklinationskreis als Anfang bezeichnet. Während man aber auf der Erde meist von östlicher und westlicher Länge spricht, rechnet man auf dem Himmelsäquator nur in der Richtung von W nach O.

Bezeichnen wir dem Augenscheine nach die Himmelsdrehung als Bewegung nach Vorn, als Vorwärtsrichtung, dann ist die jährliche Bewegung der Sonne rückwärts gerichtet, sie weicht unter den Sternen zurück (die Astronomen sagen vorwärts); jene Sternbestimmung geht also ebenfalls rückwärts. Steht z. B. die Sonne um 90° weiter nach O als F, so ist sie ein Vierteljahr zurückgewichen und es ist Sommersanfang. Kulminiert F für einen bestimmten Ort der Erde, was natürlich täglich einmal geschieht, so beginnt da-

Digitized by Google

mit für den Astronomen der Sterntag des Ortes, der demnach an den meisten Tagen nicht mit der Sonnenzeit zusammenfällt. Hat z. B. dann gerade die Sonne einen Stundenwinkel von 6 Stunden, so muss man auf dem Aequator von F über O und S nach W um 270° herumzählen. Kulminiert die Sonne 6 Stunden früher als F, so steht dieser um 90° weiter nach W, die Sternuhr zeigt 6 Stunden an und muss als Abstand des Fusspunkts der Sonnen-Deklination von F 90° oder 6 Stunden rechnen. In diesem Falle müsste man von dem im Westen liegenden Frühlingspunkte in Gedanken am Aequator nach S herum aufwärts steigen.

Namenfestsetzung. Rektascension oder gerade Aufsteigung heisst die Anzahl Grade oder der Winkel, gerechnet vom Frühlingspunkte im Aequator in der Drehungsrichtung WSONW (für unsere Halbkugel) bis zum Fusspunkte der Deklination des betreffenden Gestirnes im Aequator, sie zählt von 0° bis 360°.

Geht die Sonne oder ein Stern durch den Meridian, so giebt uns die Sternuhr eine Anzahl Stunden an, die leicht in Grade umgerechnet werden können und so die Rektascension geben. Ist aber ein Stern schon durch den Meridian hindurchgegangen, so wäre die Angabe der Sternuhr zu gross und zwar um den Stundenwinkel, also hat man letzteren von der Sternzeit abzuziehen, um die richtige Angabe für die Rektascension zu erhalten.

Wie wir sahen, ist die Ekliptik ebenfalls ein grösster Himmelskreis. Also giebt F auch einen Anfang für die Abzählung von Graden auf der Ekliptik ab. Da die Ekliptik schief zum Aequator steht, so entsprechen sich die durch die Himmelsmeridiane auf beiden ab-

Digitized by Google

geschnittenen Gradanzahlen nicht genau; man muss vielmehr eine besondere Zählung mit einem besonderen Namen einführen, falls man die Stellung eines Sternes für die Ekliptik und den Pol der Ekliptik feststellen will, der überall um 90° von der Ekliptik am Himmelsgewölbe entfernt ist. Diese Festsetzung ist in der Astronomie für Sterne recht gebräuchlich, ähnlich wie Breite und Länge für Orte auf der Erde.

Namen. Unter Sternbreite oder kurz Breite versteht man für einen Stern die Anzahl Grade, gezählt vom Aequator aus nach Norden, auf einem durch den Stern und die Pole der Ekliptik gehenden Kreise; letzterer wird genannt die Kolur (griechisch, abgestutzt, adj. zum Hauptwort für Linie, fem.). Nach dem südlichen Pole der Ekliptik zu zählt man die Sternbreite negativ. Sternlänge heisst die Anzahl Grade, gezählt auf der Ekliptik oder einem Sternbreitenkreise vom Frühlingspunkte aus rückwärts (WSONW) bis zum Fusspunkte der Sternbreite oder der betreffenden Kolur; man zählt von 0° bis 360°.

Uebungen 14.

1. Man gebe die Deklinationen und die Rektascensionen der Sonne an für Frühlings-, Sommers-, Herbst- und Wintersanfang. 2. Wann hat die Sonne eine gerade Aufsteigung von 180°? Die Sonne stehe in Berlin im Aequator und Meridian, welches sind ihre 7 Koordinaten? Sie habe einen Stundenwinkel = 45°, wieviel Sonnenstunden nach Mittag ist es, wieso ist ihr w. Azimut etwas grösser als 45° und ihre Höhe nicht genau = 18,75°? 3. An welchem Tage zeigt die Sternuhr

Digitized by Google

eines Ortes 0, wenn zugleich die Sonne Mittag 12 Uhr angiebt? 4. Wieso kann man sagen, dass die Deklination eines Fixsternes sich nicht ändert — und wie steht es in dieser Hinsicht mit der Sonne? 5. Was kann man sagen über die Rektascension eines Fixsternes im Vergleich zu der der Sonne? 6. Wie ändert sich die Höhe, wie das Azimut eines Sternes an einem Orte? 7. Bei welchen Bewegungen auf der Erdoberfläche ändert sich die Kulminationshöhe eines Sternes und wie das Azimut bei einer Reise nach Westen? 8. Inwiefern hängt der Stundenwinkel von der Erddrehung ab, ist dies auch mit der Deklination der Fall? 9. Aendert sich die Höhe eines Sternes durch die Erdumdrehung, insbesondere für die Gegend des Erdpoles? Wann und wo sind alle 7 Koordinaten der Sonne gleich 0? 10. Wieso bleiben Deklination und Rektascension eines Sternes konstant, solange die Erdaxe feststeht?

15. Die mittlere Sonne und der Jahresanfang.

Der Unterschied von Tag und Nacht richtet sich nach der Sonne. Man kann aber nicht ohne weiteres den Sterntag benutzen, um dadurch auch den Sonnentag auszudrücken; denn die Kulmination des Frühlingspunktes, mit der jeder Sterntag beginnt, fällt an den allermeisten Tagen nicht mit der Kulmination der Sonne zusammen. Man wird also den Anfang und auch die Länge des Sonnentages genau zu bestimmen suchen.

Die Sonne macht eine nicht ganz so schnelle tägliche Bewegung wie die Sterne. Wenn sie ihre Rückwärtsbewegung an einem Tage schneller ausführen sollte, als an einem anderen, so hat sie an jenem Tage noch

Digitized by Google

einen Zeitabschnitt länger die scheinbare Rotation des gesamten Himmels mitzumachen, bis sie wieder dieselbe Höhe erreicht. Der dadurch bestimmte Sonnentag wäre also länger als ein anderer Sonnentag, an dem die Sonne langsamer zurückwiche.

Es ist mithin wichtig, die Grösse des Zurückbleibens für jeden Tag festzustellen.

Thatsache. Beobachtungen ergaben, dass zur Zeit des Wintersolstitiums jenes Zurückbleiben nahezu $4^m\ 27^s$, um die Zeit des Herbstäquinoktiums aber nur $3^m\ 27^s$ beträgt. Macht man solche Beobachtungen an ebenso vielen Tagen, wie sie im Jahre vorkommen (d. h. zwischen zwei aufeinanderfolgenden Frühlings- oder Herbstsonnenwenden) — wir wollen einmal annehmen, es seien 365 Tage —, so müsste man die Summe aller dieser Zeitabschnitte durch 365 dividieren und erhielte einen „Durchschnitt" oder ein arithmetisches Mittel.

Thatsache. Im Mittel bleibt die Sonne täglich um $3^m\ 56{,}555^s$ Sternzeit täglich unter den Sternen zurück. Der mittlere Sonnentag ist demnach um soviel grösser als der Sterntag. Zur Zeit der Wintersonnenwende ist der wahre Sonnentag um eine halbe Minute länger, zur Zeit der Herbst-Tag- und Nachtgleiche um etwa eine halbe Minute kürzer als der mittlere.

Wir haben bisher die Angaben von Minuten etc. in Sternzeit gemacht, jetzt können wir auch den mittleren Sonnentag in 24 Stunden und in Minuten wie Sekunden einteilen. Natürlich ist dann eine Sekunde, Stunde etc. mittlerer Sonnenzeit etwas grösser als die entsprechende Grösse in Sternzeit, und zwar muss man von einem mittleren Tage nicht $3^m\ 56{,}555^s$ mittlerer

Digitized by Google

Zeit abziehen, um einen Sterntag zu erhalten, weil dieser Abzug ja Sternminuten wären, sondern eine geringere Anzahl, nämlich $3^m 55{,}909^s$ mittlerer Zeit.

Fragen wir uns, woran es liegen kann, dass die Sonne verschiedene Zurückbleibungen hat, so müssen wir zunächst die Schiefe der Ekliptik berücksichtigen.

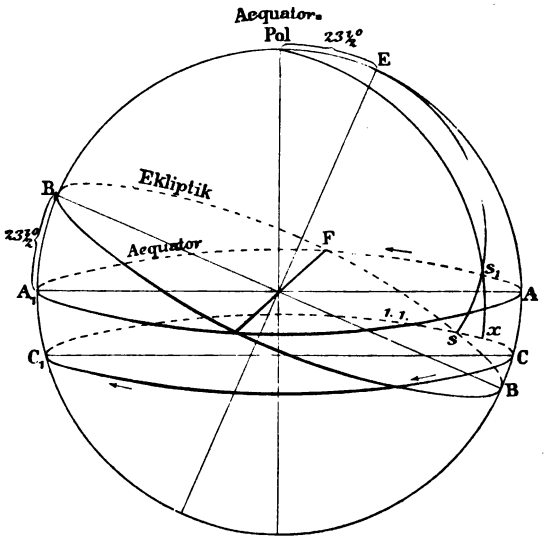


Fig. 11.

Steht die wahre Sonne in B_1 (Figur 11), also in der Sommersonnenwende, so geht ihre Bahn nahezu parallel zum Aequator in A_1. Steht die Sonne aber im Frühlingspunkte F, so bildet ihre Zurückweichung einen Winkel mit dem naheliegenden Bahnstück des Aequators. Denkt man sich auf der Ekliptik B_1 FB viele gleiche

Digitized by Google

Stücke abgeschnitten, so würde die wahre Sonne beim Durchlaufen eines solchen Stückes bei B_1 um nahezu ebenso viel unter den Sternen nach Osten zu zurückbleiben, beim Durchlaufen eines gleichen Stückes in der Nähe von F aber würde sie im Laufe des betreffenden Tages nicht so viel unter den Sternen nach O zu zurückbleiben, weil dieses Stück gegen die OW-Richtung geneigt ist. Wenn demnach, wie wir vermuten werden, die Sonne innerhalb der Ekliptik ganz gleichmässig rasch liefe, so würde ihr tägliches Zurückbleiben in rein östlicher Richtung bei Winters- und Sommersanfang grösser sein, als zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen, also würde dadurch der Sonnentag z. B. bei Wintersanfang länger sein.

Wir sahen vorhin, dass thatsächlich dies einen Unterschied von ungefähr einer Minute ausmacht. Genaue Betrachtungen ergeben, dass durch jene blosse schiefe Neigung der Ekliptik ein so grosser Unterschied nicht zu stande kommen würde. Darum sollte man vermuten, dass die Sonne auch in der Ekliptik nicht gleichmässig geschwind läuft, sondern in der Nähe des Wintersanfangs schneller. Dies kann man natürlich durch Winkelmessung entscheiden.

Thatsache. Misst man die Bahnstücke, welche die Sonne auf der Ekliptik in derselben Anzahl von Sternstunden zurücklegt, so ergiebt sich, dass dieselben ungleich sind; und zwar sind sie am grössten zu unseren Zeiten 11 Tage nach der Wintersonnenwende.

Schluss. Die Sonne bewegt sich in ihrer scheinbaren Bahn am schnellsten etwa 11 Tage nach der Wintersonnenwende, an einer ganz bestimmten Stelle

Digitized by Google

ihrer Bahn, und am langsamsten an einer dieser entgegengesetzten Stelle. Es lag nahe, die Sonne zu jenen Zeiten recht genau zu betrachten.

Thatsache. Die Sonne erscheint uns zur Zeit ihrer grössten Bahngeschwindigkeit am grössten.

Vorläufige Namenfestsetzung. Jahresanfang sei für einen Ort 11 Tage nach dem Anfang desjenigen Tages, an dem die Wintersonnenwende stattfindet (bei einer Länge der Sonne von 280°). Dieser Tag heisse 1. Januar für den betreffenden Ort. Oder — was für die Zeit, in der wir leben, richtig ist — es sei der Jahresanfang etwa dann, wenn die Sonne in ihrer Bahn am geschwindesten und am grössten erscheint.

In der Figur 11 soll die Sonne sich gerade in S befinden, also der Winkel FB_1BS soll 280° betragen. Die Breite der Sonne ist natürlich wie immer Null, sie steht im Fusspunkt der Kolur ES_1S. Zur Zeit der Wintersonnenwende würde sie sich in B befinden; dann liegt ihr Zurückweichen nach S zu gerade nahezu parallel zum Aequator, daher würde ihr Zurückweichen in unverkürzter Weise östlich zur Geltung kommen. Zugleich aber ist sie nicht mehr sehr fern von der Stellung ihrer grössten Geschwindigkeit innerhalb der Ekliptik; so kommt es, dass an diesem Tage ihr östliches Zurückbleiben unter den Sternen ganz besonders gross ist.

Es wird anschaulich sein, sich den mittleren, immer gleich bleibenden Sonnentag durch eine gedachte Sonne vorzustellen, und zwar würde uns deren Bahn nicht jenen Geschwindigkeitsunterschied aufnötigen, der an der Schiefe der Ekliptik liegt, wenn wir sie im Aequator laufend denken.

Digitized by Google

Definition. Mittlere Sonne heisst eine vorgestellte Sonne, die mit immer gleicher Geschwindigkeit einen jährlichen Umlauf rückwärts im Aequator macht und bei Jahresanfang dieselbe Länge von 280° hat wie die wahre Sonne (also in S_1 steht). Nach ihr richtet sich das mittlere Sonnenjahr, welches für die bürgerliche Zeitrechnung massgebend ist. Kulminiert sie, so beginnt der mittlere Sonnentag.

Es ist demnach wohl richtig, wenn wir sagen, der Sonnentag des bürgerlichen Lebens habe immer genau dieselbe Länge und zwar 24 Stunden mittlerer Sonnenzeit, aber es ist nur selten richtig zu behaupten, es sei Mittag, wenn die wahre Sonne kulminiert. Nicht einmal am ersten Tage des Jahres steht die wahre Sonne mit der mittleren gleichzeitig im Meridian. Denn die letztere S_1 muss in der Richtung der vorderen beiden Pfeile, also von O nach W den Bogen S_1 A zurücklegen, um in den Meridian des in der Figur angenommenen Ortes zu gelangen. Dieser Bogen hat dieselbe Winkelgrösse wie der Bogen xC auf dem zum Aequator parallel durch S gelegten Kreise, welcher die Rotation um die Weltaxe an jenem Tage für S vorstellt; er wird natürlich gefunden durch einen vom Nordpol aus gelegten, in der Figur gezeichneten Himmelsmeridian. Man sieht, dass der von der Sonne in Wirklichkeit zurückzulegende Bogen SC um das Stück Sx grösser ist. Wenn also die mittlere Sonne schon im Meridian ist, steht die wahre Sonne am ersten Januar noch um ein Stückchen vor, d. h. weiter östlich vor dem Meridian, nämlich um $3^m\,59^s$.

Namen. Diese Anzahl von Sekunden heisst die

Digitized by Google

Zeitgleichung für den ersten Januar. Addiert man sie zur wahren Sonnenzeit (die man durch eine Sonnenuhr oder durch Berechnung von Sonnenhöhen erhält), so erhält man die mittlere Sonnenzeit (d. h. nicht die Tageslänge, sondern die Zeitangabe einer nach mittlerer Sonne gestellten Uhr). Die sogenannte Zeitgleichung dient also zur Gleichmachung, zur Ausgleichung der wahren Sonnenzeit mit der mittleren Sonnenzeit. Man hat sie für alle Tage ausgerechnet; vier Tage im Jahre giebt es, wo sie Null ist, also die beiden Sonnen gleichzeitig kulminieren, viele Tage giebt es, wo sie negativ ist, also die wahre Sonne nach der mittleren, d. h. nach unserem sogenannten Mittage im Meridian steht, z. B. am sogenannten 4. November über 16^m. Dies gehört zu den grössten Differenzen.

Uebungen 15.

1. Welche Koordinaten der verschiedenen Systeme nehmen in Vorwärts-, welche in Rückwärtsbewegung zu? 2. Was heisst Sterntag, wahrer Sonnentag, mittlerer Sonnentag und wie unterscheiden sie sich? 3. Wieviel ist eine Sekunde Sternzeit in mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt und umgekehrt? Wieso sind $3^m 56,555^s$ Sternzeit $= 3^m 55,909^s$ m. S.? 4. Was werden wir bezüglich der Geschwindigkeit unter anderen Längen vermuten, wenn wir erfahren, dass die wahre Sonne in der Ekliptik bei einer Länge von $100°$ an einem Tage, den man 2. Juli nennt, die kleinste Geschwindigkeit und den kleinsten Durchmesser hat? 5. Wann steht die mittlere Sonne höher als die wahre? 6. Wieso ist es praktisch nicht von einer östlichen und west-

Digitized by Google

lichen Zeitgleichung zu sprechen, sondern dieselbe als positiv und negativ anzugeben? 7. Man vergleiche die Unterschiede beim Aufgehen und Untergehen der wahren und mittleren Sonne mit den bei der Kulmination sich ergebenden. Wieso wird es grössere Schwierigkeiten haben an irgend einem Tage des Jahres die Aufgangszeit der wahren Sonne anzugeben als der mittleren? 8. Wieso kann man die mittlere Zeit aus der Sternzeit finden, wenn man eine Sternuhr im mittleren Mittag anblicken kann und wieso ist eine Umrechnung von Sternstunden in mittlere nötig? 9. Wieso ist ebenso wie die Sternzeit, auch die mittlere Sonnenzeit für jeden Ort verschieden? Wieso ist es für die Eisenbahnfahrpläne und für die Benutzung der Uhr des Reisenden unangenehm, wenn auf allen Stationen genau die mittlere Sonnenzeit des betreffenden Ortes von den Uhren angegeben würde, namentlich bei weiten Reisen? 10. Wieviel Zonen ergeben sich, wenn man alle Meridiane, die von einem Stern im Lauf einer Stunde überstrichen werden, zu einer Zone (die natürlich nicht, wie sonst Zonen, nordsüdlich läuft), zusammenfasst? 11. Es sei der Nullmeridian (Greenwich) der mittlere der ersten Zone und es seien alle Uhren innerhalb derselben nach der mittleren Ortssonnenzeit von Greenwich gestellt, um wieviel weicht dann die Uhr eines Ortes an der Grenze jener Zone von der wirklichen mittleren Sonnenzeit ab? 12. In der zweiten Zone heisst die gemeinsame Zonenzeit die mitteleuropäische — warum? Um wieviel gehen die Eisenbahnuhren in Berlin anders als in Greenwich und überhaupt der ersten Zone? Wie steht es mit den

Digitized by Google

Uhren, wenn man die Grenze der beiden Zonen überschreitet? 13. Wenn die mitteleuropäische Zeit in Berlin von der mittleren Ortszeit daselbst um $6^m 25,13^s$ verschieden ist, wie weit liegt der mittlere Meridian der zweiten Zone von Berlin ab? [14. Wie mag es kommen, dass die Zeitgleichung etwa 25 Tage nach dem Frühlingsanfang, 7 Tage vor dem Sommeranfang, 23 Tage vor dem Herbstanfang und 3 Tage nach dem Winteranfang (Weihnachten) gleich Null ist? 15. Wie mag es kommen, dass sie besonders negativ gross in der Mitte zwischen dem Herbstäquinoktium und der Wintersonnenwende ist und besonders positiv gross etwa 30 Tage vor Frühlingsanfang?]

16. Die Schleifen der Planetenbahnen und der Erdlauf nach Kopernikus.

Thatsache. Der Durchmesser der Sonne erscheint uns am 1. Januar am grössten und zwar $= 32' 31,8''$; 11 Tage nach der Sommersonnenwende am kleinsten und zwar $= 31' 26,8''$.

Da man kaum annehmen kann, der Sonnenkörper ziehe sich abwechselnd zusammen und dehne sich wieder aus, so zog man (schon im Altertume) den

Schluss. Zur Zeit ihrer grössten scheinbaren Geschwindigkeit ist die Sonne der Erde am nächsten, zur Zeit ihrer geringsten Geschwindigkeit am fernsten.

Ueberhaupt erinnert uns die bedeutende scheinbare Grösse der Sonne daran, dass sie vermutlich viel näher stehen wird als die Fixsterne. Wenn wir also vom Schnitte der Sonnenbahn mit dem Aequator sprechen, der ja an der unendlich fern gedachten Himmelskugel

Digitized by Google

liegt, so dürfen wir dies nur so auffassen, als wenn die Sonnenbahn von ihrer wirklichen Entfernung hinweg, überall in gerader Linie von unserem Auge aus, an das Himmelsgewölbe verlegt gedacht wird. Da die Ekliptik uns wie ein grösster Kreis erscheint, so glauben wir uns im Mittelpunkte desselben zu befinden. Wir befinden uns auch unter allen Umständen im Mittelpunkte der scheinbaren an die Himmelskugel von uns projizierten (dort von uns erblickten und gedachten) Sonnenbahn; es könnte aber wohl sein, dass die Sonnenbahn selbst eine in der Ebene dieser scheinbaren Ekliptik liegende anders gestaltete Kurve wäre. Ja selbst wenn es eine Linie mit Ecken wäre, würden wir sie als Kreis sehen. Da nun die Sonnengrösse regelmässig abnimmt und zunimmt, so schliesst man daraus, sie bewege sich in einer entsprechenden Bahn. Es war natürlich an einen Kreis zu denken, dessen Mittelpunkt dann aber nicht in der Erde liegen könnte. Man könnte in diesem Falle die Sonne, selbst wenn sie in diesem Kreise mit gleicher Geschwindigkeit liefe, von uns aus nur in verschiedenen Geschwindigkeiten sehen. Dasselbe Bahnstück erschiene uns nämlich, wenn es ferner liegt, unter einem kleineren Winkel, d. h. die Geschwindigkeit, welche dieses Bahnstück vorstellt, erschiene kleiner.

Die alten Griechen fanden es natürlicher, dass ein Gestirn sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit bewege, schlossen also aus alledem, die Sonne bewege sich derart auf einem excentrischen Kreise. Dies ist ein Irrtum, wie sich später zeigte.

Schon früh ahnte man, dass die Sonne ein unserer

Digitized by Google

Erde an Grösse und Kraft gewaltig überlegener Körper ist. Gleichwohl liess man sich durch den Augenschein verführen ihren Lauf um die kleine Erde anzunehmen. Mancherlei schon im frühen Altertume gemachte Beobachtungen hätten eigentlich zu starken Zweifeln führen sollen. Man sah, dass um die Sonne herum eine Anzahl von kleineren, ebenfalls nicht unendlich weit entfernten, also eigentlich nicht an der Himmelskugel stehenden Gestirnen sich in gewissen Zeiten und mit gewissen Bahnen bewegen, die sogenannten Wandelsterne oder Planeten (griechisch, wandeln).

Thatsache. Auf dem grössten Teil ihrer Bahnen scheinen sich die Planeten mit verschiedenen, aber nicht sprungweise sich ändernden Geschwindigkeiten, ungefähr vom Westen nach Osten, aber etwas schief zur Ekliptik, um die Sonne herum zu bewegen. Aber es kommt bisweilen vor, dass diese östliche Geschwindigkeit eines solchen Körpers am Himmel bis zu Null abnimmt und er nur etwas nordsüdlich läuft, alsdann anfängt sich nach W. hin zu bewegen, wieder stille steht, um von neuem in seine gewöhnliche erste Richtung überzugehen. An solcher Stelle sieht die Bahn schleifenartig aus. Schon im Ptolemäischen Systeme konnte man diese gesetzmässig verfolgen und den Verlauf im Voraus sagen, aber freilich in Bezug auf die stillstehende Erde nur durch sonderbare Kurven. Man hätte aus der Thatsache, dass diese Wandelsterne um die Sonne herumlaufen (und bisweilen dunkel erscheinen, also von jener ihr Licht erhalten), wohl schon schliessen können, es würde etwas derartiges für alle nahe befindlichen kleineren Körper, also auch für die Erde der

Digitized by Google

Fall sein, aber man hielt zu sehr an dem Gedanken fest, die Erde als Wohnsitz des Menschen, müsse der Mittelpunkt der Welt sein, um den sich alles bewege. Der Philosoph Aristarch von Samos, 270 v. Chr. G., behauptete, ohne durchzudringen, den Lauf der Erde um die Sonne. Erst Kopernikus der jene Behauptung kannte, führte sie systematisch durch und nahm excentrische Kreisbahn an. Hierdurch wurde die Erde auf den Rang eines Planeten gebracht. Die Namen der

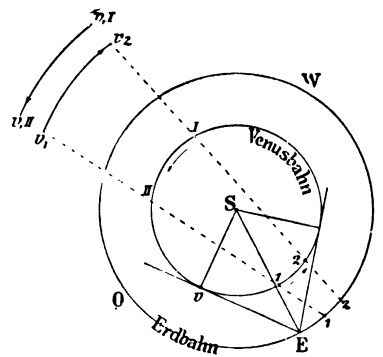


Fig. 12.

heute bekannten sind in der Reihenfolge von der Sonne aus: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun. Recht einfach lässt es sich vorstellen, warum die übrigen Planeten trotz ihrer behaupteten kreisähnlichen Bahn jene Schleifenfiguren zeigen.

Man stecke auf einen in der linken Hand vertikal gehaltenen Stab oben eine grössere Kugel, welche die Sonne vorstellen soll, stecke in diese seitlich einen zweiten, also nun horizontal stehenden Stab SV, der

Digitized by Google

an seinem Ende eine kleinere Kugel V, die einen Planeten vorstellen soll, trägt, und drehe den vertikalen Stab in der Hand so in sich selbst herum, dass die kleinere Kugel in einer Kreisbahn vor dem in der Ebene dieser Bahn befindlichen Auge sich bewegt (man kann etwa unten am vertikalen Stab einen Griff wie bei der Kaffeemühle anbringen und an diesem mit der rechten Hand die Drehung ausführen, auch zur Erleichterung den Stab in einer von der linken Hand gehaltenen vertikalen Hohlröhre sich drehen lassen). Blickt man nun fortwährend die kleinere Kugel an, so scheint dieselbe an den Wänden des Raumes, in dem man sich befindet (derselbe sei etwa eine dem Himmel ähnliche Kuppel), auf dem vom Auge entfernteren Teile seiner Bahn nach der einen Seite, z. B. von rechts nach links sich zu bewegen, dann still zu stehen und nun (vom Punkte V an, Figur 12, von oben gesehen) sich von links nach rechts zu bewegen. Der Punkt V liegt da, wo eine vom Auge E an die Bahn gelegte Tangente diese berührt. Ist E die Erde und V ein der Sonne näher stehender Planet, z. B. die Venus, so schiene dieselbe von der Erde aus gesehen den grössten Teil ihres Umlaufes von W nach O zu machen, einen kleineren, näheren aber von O nach W. In der Natur fallen die Bahnen der Planeten nicht genau in dieselbe Ebene. Man halte den Apparat tief genug, dass man von E aus etwas von oben auf die Bahnebene der kleineren Kugel blickt. Dann fällt die WO Bewegung und die umgekehrte nicht in eine und dieselbe gerade Linie.

Wir nahmen hierbei an, dass die Erde still stehe;

Digitized by Google

in Wahrheit bewegt sie sich in der Richtung 1 nach 2, aber inzwischen legt die Venus, welche ihren Umlauf erfahrungsgemäss in kürzerer Zeit zurücklegt, einen entsprechenden Bogen 1 bis 2 zurück, der aber verhältnismässig grösser ist. Steht demnach die Venus zwischen den Punkten ihrer scheinbaren grössten Entfernung von der Sonne (Berührung der Tangenten, Winkel SEV), und auf dem der Erde näheren Teile ihrer Bahn, so bewegt sie sich am Himmel scheinbar von O nach W (die Astronomen sagen: rückläufig), nämlich von V_1 nach V_2. Befindet sie sich aber, was ihres rascheren Umlaufs wegen vorkommen muss, auf dem entfernteren Teile ihrer Bahn, bewegt sich etwa von I nach II, so erscheint sie am Himmel in dem Bahnstück V,I bis V,II.

Mit dem Apparate ist auch dies leicht zu zeigen. Man neige zunächst den vertikalen Stab etwas, so dass die Bahnebene der kleineren Kugel nicht mehr genau horizontal ist. Dann halte man den Apparat so, dass die grössere Kugel still steht, oder vielmehr sich nur in sich selbst dreht, während die kleinere, also der betrachtete Planet eine Kreisbahn infolge der Drehung mittelst der rechten Hand beschreibt. Zugleich wandere man selbst in derselben Richtung in einem etwas grösseren Kreise um die Sonnenkugel herum, und zwar langsamer, als sich die kleine Kugel bewegt. Unser Auge beschreibt alsdann als Erde die hier kreisförmig vorgestellte Bahn der Ekliptik, die hier horizontal gelegt ist. Man sieht nun deutlich, wie die Venuskugel an der Wand des Beobachtungsraumes die eigentümliche, dann und wann mit einer Schleife versehene

Digitized by Google

scheinbare Bahn beschreibt. Jedesmal eine Schleife kommt etwa in der Zeit vor, die vergeht von einer grössten östlichen scheinbaren Entfernung der Venus von der Sonne — in der Figur Lage V — bis zur nächsten, also in einer Zeit, die wegen der Erdbewegung länger währt als ein Umlauf der Venus um die Sonne.

Will man dieselbe Erscheinung nach der Ptolemäischen Auffassung mit dem Apparate erzielen, so muss man auf der Stelle stehen bleiben und den Körper nach links herum um seine Vertikalaxe drehen, so dass die Sonne mitsamt der Venus östlich zurückweicht, während der Apparat in der abgestreckten linken Hand gehalten wird, die einen Kreis horizontal beschreibt, und die rechte Hand für den Umlauf der Venus in einer etwas schief gelegten Ebene sorgt.

Die Venus scheint am Fixsternhimmel nicht genau in den Punkten der grössten scheinbaren Sonnenentfernung V still zu stehen, denn sie weicht ja wegen der Erdbewegung mitsamt der Sonne etwas nach O rückwärts. Vielmehr wird der scheinbare Stillstand etwas später als in V eintreten, wenn die Venus schon wieder etwas nach der Sonne zu vorwärtsschreitet, und zwar dann, wenn sich genau dieses Vorwärtsschreiten aufhebt mit dem Rückwärtsweichen des ganzen Systemes. Ein entsprechender Stillstandspunkt innerhalb der Ekliptik befände sich nahe vor der grössten scheinbaren westlichen Entfernung.

Oder nach Kopernikanischer Betrachtung würde dann die Venus am unendlich fernen Fixsternhimmel westöstlich unter den Fixsternen still zu stehen scheinen,

Digitized by Google

wenn die Verbindung der beiden Lagen von Erde und Venus parallel zur Verbindung der folgenden Lagen bliebe.

Es wird von grösstem Interesse sein, über das Verhältnis der Geschwindigkeiten zweier Planeten oder ihre Umlaufszeiten und zugleich die Grösse ihrer Bahnen Näheres zu erfahren. Wenn man von einem sehr entfernten Planeten eine Tangente an die Venusbahn gezogen denkt, so fällt der Berührungspunkt anders als bei geringerer Entfernung. Und wenn der eine Planet eine andere Geschwindigkeit annähme, so würde die Schleife sich ebenfalls anders gestalten. Mithin wird man umgekehrt aus der Beobachtung der Planetenörter Schlüsse gewisser Art auf Verhältnisse von Umlaufzeiten und Bahngrössen machen können.

Uebungen 16.

1. Wie oft müsste ein Planet scheinbar eine Schleife machen oder rückläufig werden, wenn die Erde E und die Sonne stille ständen? 2. Was für eine Erscheinung müsste sich den Erdbewohnern bieten, wenn die Venus gerade in die Verbindungslinie von Sonne und Erde träte? Wieso ist das nur möglich, falls gerade die Venus durch die Ebene der Erdbahn hindurchträte, wenn sie in jene Linie tritt? Wieso wird dies nur selten (wenige Male in einem Jahrhundert) eintreten? 3. Wieso steht der beobachtete Planet in jenen Stillstandspunkten nicht derart still, dass man ein beobachtendes Fernrohr gar nicht zu bewegen brauchte, um den Planet einige Zeit in der Nähe jener Stellung zu sehen (tägliche Rotation)? 4. Wäre es denkbar, dass

Digitized by Google

ein Planet auch beziehlich seiner Höhe und seines Azimutes zeitweilig stillstände? Welche Geschwindigkeit müsste er dann unter den Fixsternen zeigen? Verträgt sich diese Annahme mit den Thatsachen der Umlaufszeiten? 5. Man betrachte in der Figur 12 den Planeten V als die Erde und E als einen der ferneren Planeten, z. B. als Mars. Welche Lage ungefähr muss dann VE haben zu VS, oder welchen scheinbaren Sonnenabstand muss der betrachtete Planet haben, um scheinbar stillzustehen? Man führe die ganze Betrachtung über Rückläufigkeit für derartig ferner stehende (obere) Planeten aus. 6. Wieso kann man mit dem oben beschriebenen Apparate auch die Rückläufigkeit der oberen Planeten veranschaulichen, wenn man die Kugeln so hoch hält, dass sie oberhalb des Kopfes um einander laufen und den Stab zwischen beiden Kugeln recht gross wählt? 7. Konjunktion zweier Gestirne bedeutet, dass sie am Himmel möglichst nahe einander, also (für Sonne und Planeten) in derselben Kolur und nach derselben Seite erscheinen; Opposition, dass sie in entgegengesetzter Richtung, d. h. in der von der Konjunktion möglichst entfernten Sternbreite stehen. Wieso giebt es für die unteren Planeten und Sonne keine Opposition, aber zwei (die untere und obere) Konjunktionen, für die oberen Planeten aber beides? 8. Was hat die Konjunktion bez. Opposition mit der Rückläufigkeit der Planeten zu schaffen?

17. Keplers Gesetze.

Im Verlaufe unserer Betrachtungen sind wir vielfach auf die Frage gestossen, ob die Erde stets gleiche

Digitized by Google

Entfernung von der Sonne hat. Ferner hörten wir, dass man auch durch Annahme von excentrischen Kreisen die Planetenbahnen nicht genau richtig erklärt. Auch konnten wir nicht ein genaues Gesetz über die Zunahme und Abnahme der Bahngeschwindigkeit der Erde oder der Planeten aussprechen. Endlich wurden wir dahin gedrängt etwas Genaues zu wünschen über die Verhältnisse der Umlaufszeiten und die Grösse der Bahnen. Alle diese Fragen haben den Astronomen viel zu schaffen gemacht, ihre Beantwortung erscheint besonders wünschenswert nach dem Durchdringen der Kopernikanischen Weltanschauung, welche zwar einfacher als die Ptolemäische die Bahnen der Planeten, also auch der Erde, beschreiben liess, aber viele Abweichungen nicht erklären und keinen genauen Zusammenhang zwischen den genannten wichtigen Grössen ergab. Da brachten Keplers Gesetze die gewünschte Genauigkeit. Dieser grosse Astronom gelangte zu seinen Entdeckungen durch eine grosse Zahl von genauen Beobachtungen und darauf sich gründenden Berechnungen. Er lebte 1571 bis 1630, war also ein Zeitgenosse Galileis und Wallensteins. Seine Gesetze lauten:

1. Die Erde (wie jeder Planet) bewegt sich in einer Ellipse um die Sonne, welche in einem Brennpunkte steht.

2. Die vom Radiusvektor, d. h. der Verbindung zwischen Erde und Sonne in gleichen Zeiten überstrichenen Flächenstücke der Ellipse sind inhaltsgleich (ebenso für die übrigen Planeten). 3. Die zweiten Potenzen (Quadrate) der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen (bildlich Kuben) ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Digitized by Google

Wie ersichtlich, ist in dieser Fassung nicht genau von den Mittelpunkten oder Schwerpunkten der Sonne und der Erde gesprochen und zwar absichtlich nicht. Denn dafür würden die Gesetze nicht genau richtig sein. Die Ellipsenbahn, angenommen für den Mittelpunkt der Erde, erklärt zwar die Bewegung der Erde im Laufe eines Jahres genauer als die früheren Annahmen von Kreisen, aber es hat sich gezeigt, dass Abweichungen auch hierbei vorkommen. Die Keplerschen Gesetze sind unter der Voraussetzung völlig richtig, dass weder Mond noch Planeten störende Einwirkung ausüben, und ferner, dass die Sonne ihrerseits sich um die Erde nicht bekümmert, von ihrer Stellung, ihrer Entfernung etc. unabhängig ist. Wir wollen nach astronomischer Methode solche Abweichungen von den Keplerschen Gesetzen **Störungen** nennen, und können nun sagen: abgesehen von Störungen befolgt die Erde ebenso wie die anderen Planeten die Keplerschen Gesetze.

Man wird sich fragen, warum es gerade drei Gesetze sind, welche die Planetenbahnen beherrschen sollen. Sollten die Gesetze untereinander in gar keinem Zusammenhange stehen? Warum z. B. entfernt sich die Erde am weitesten von der Sonne, während sie immer langsamer läuft und nähert sich ihr an einer bestimmten Stelle der Ellipse, der sogenannten **Sonnennähe** oder dem Perihel (griechisch, Gegensatz Aphel, Sonnenferne, gesprochen perihél und afhél)? Warum brauchen die entfernteren Planeten längere Zeit zum Umlauf, und warum gerade in den Verhältnissen des dritten Keplerschen Gesetzes? Sollten jene Gesetze

Digitized by Google

nicht mit der Schwungkraft und also auch mit einer Anziehungskraft zusammenhängen und wie? Wie mag das Gesetz der Anziehung lauten? Gibt es überhaupt ein solches, das sich leicht ausrechnen und etwa mit der Anziehung der Erde auf irdische Körper vergleichen lässt?

Wir müssen uns soviel sagen, dass jedenfalls die Anziehung wie überhaupt die Gründe für die Keplerschen Gesetze mit den Entfernungen zu thun haben werden, denn auch die Schwungkraft hat damit zu thun.

Darum wird es zunächst unser Bestreben sein, etwas über die wirklichen Entfernungen der Gestirne, namentlich die Entfernung von Sonne und Erde zu erfahren. Nur dann können wir weitere Schlüsse verstehen.

Uebungen 17.

1. Wieso werden die Brennpunkte der Erdbahn-Ellipse sehr nahe bei einander liegen? Man zeichne eine Ellipse und ausserdem einen excentrischen Kreis, der sich nahezu mit derselben deckt und beachte die Abweichungen. 2. Wieso folgt aus dem zweiten Keplerschen Gesetze, dass die Erde sich in der Sonnennähe am schnellsten bewegen muss (man zeichne ein Flächenstück mittelst zweier Lagen der Erde in der Nähe der Sonne und ein zweites mittelst zweier Lagen zur Zeit der Sonnenferne)? 3. Angenommen, man habe an 365 Tagen des Jahres die Entfernung der Sonne gefunden, und alle diese Grössen zusammen addiert, wie findet man dann daraus die mittlere Entfernung (Division durch welche Zahl)? 4. Es sei die mittlere Entfernung eines Planeten doppelt so gross wie die eines zweiten,

Digitized by Google

wie steht es dann mit ihren Umlaufszeiten, falls das dritte Gesetz richtig ist? 5. Was für Resultate beispielshalber müsste man gefunden haben über Entfernungen und Umlaufszeiten zweier Planeten, um das dritte Gesetz daraus ableiten zu können? Wieso können Gesetze wie die Keplerschen, falls sie überhaupt empirisch, d. h. durch Beobachtung der Natur gefunden werden, nur durch sehr zahlreiche Untersuchungen gefunden werden? 6. Wieso ist die Annahme einer Schwungkraft nur möglich, wenn eine gleich grosse, entgegengesetzt gerichtete Centralkraft angenommen wird?

18. Die Parallaxe und die Entfernung der Sonne.

Bei der Berechnung von Breitegraden stellten wir uns die Aufgabe, die Linie nach einem entfernten Punkte zu berechnen, wenn wir eine nicht sehr grosse Standlinie ausmessen können. Ist letztere bekannt und sind die Winkel von ihren Endpunkten nach dem entfernten Punkte gemessen, so ist das Dreieck vollkommen bestimmt, also sind die beiden anderen Seiten, die zum entfernten Punkte führen, entweder durch Konstruktion oder durch Berechnung zu finden. Da Sonne, Mond und Planeten sehr fern sind, so ist hierfür der dritte Dreieckswinkel, dessen Winkelpunkt im Mittelpunkte des Gestirnes liegt, ausserordentlich klein und zwar um so kleiner, je kleiner unsere hier auf der Erde gewählte Grundlinie ist. Darum werden wir uns bemühen, die letztere möglichst gross zu wählen.

Betrachtet man z. B. die Sonne S (Figur 13) von den beiden Punkten der Erde T und T_1 aus, in denen die Sonne im scheinbaren astronomischen Horizonte er-

Digitized by Google

scheint, so ist die Standlinie eine möglichst grosse, eigentlich der Kreisbogen zwischen T und T_2. Statt dessen werden wir lieber die beiden Erdradien TM und T_2M wählen, deren Länge uns bekannt ist und statt des einen Dreiecks lieber zwei Dreiecke oder das eine SMT, dessen Grundlinie r ist, um so mehr, als die gesuchte Seite SM dann sofort die Entfernung der Mittelpunkte von Erde und Sonne ist. Es kommt nun darauf an, ausser r die Winkel T und M zu kennen.

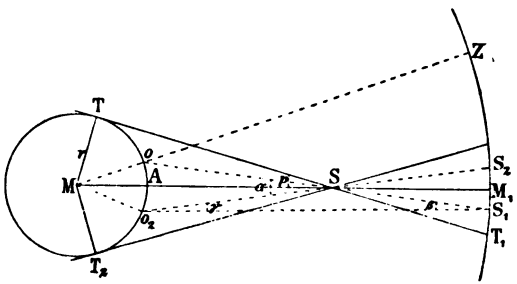


Fig. 18.

Ersterer ist, falls ST Tangente an die Erde ist (was ja beim Erscheinen der Sonne im Horizont geschieht) gleich 90°, Winkel SMT wird aber gemessen durch den Kreisbogen TA, also die Entfernung der beiden Orte T und A auf der Erde (falls diese eine Kugel ist. A liegt so, dass man daselbst den Sonnenmittelpunkt gerade im Zenit haben müsste, an der Himmelskugel zwischen den Sternen am Orte M_1, von T aus erscheint er am Orte T_1. Der Winkel S unseres ersten Dreiecks zeigt sich demnach am Himmel durch den Bogen M_1T_1; nur müssen wir beachten, dass der

Digitized by Google

Winkelpunkt nicht in unserem Auge, sondern in der Sonne zu suchen ist.

Wegen der Wichtigkeit eines solchen am Mittelpunkt der Sonne vorgestellten Winkels hat man einen besonderen Namen dafür erfunden. Man nennt ihn die Parallaxe des Gestirnes (griechisch, Verschiebung). Offenbar richtet sich die Grösse derselben nach der Grösse der Standlinie, von deren Enden aus man das Gestirn beobachtet. Liegt diese Standlinie auf der Erde, so nennt man die Parallaxe eine tägliche (da jeder Ort täglich seine Stellung wechselt, z. B. T und damit also auch die Linie T S). Gelingt es aber, eine noch viel grössere Standlinie im Weltenraume zu erlangen, z. B. falls die Erde etwa zu verschiedenen Zeiten des Jahres zwei verschiedene Orte im Sonnensysteme einnimmt, so nennt man sie eine jährliche. Wir haben hier zunächst nur mit der täglichen zu thun. Man muss eigentlich noch in diesem Worte zum Ausdruck bringen, dass der eine Schenkel dieses Winkels nach dem Mittelpunkte der Erde läuft — das wollen wir aber als selbstverständlich betrachten; ferner noch, dass der andere Schenkel in der Horizontalebene des Beobachtungsortes T liegt — darum nennt man diese Parallaxe auch die Horizontalparallaxe. Wir sagen kurz, wenn man es nicht missverstehen kann, p (Parallaxe). Beobachtungen zeigen, dass sie nur für Sonne, Mond, Merkur, Venus, Mars messbar ist, für fernere wird sie zu klein.

Natürlich kommt ausserordentlich viel darauf an, die Sonnenparallaxe möglichst genau zu finden, weil darauf sehr viele Berechnungen beruhen. Stände ein

Digitized by Google

Stern unendlich fern, so würde die Tangente in einem Orte berühren, der 90° von A entfernt wäre. Es hat sich gezeigt, dass dieser Ort nur etwa $^1/_4$ km weiter von A ab läge als T. Alle Sterne, die weiter als die Sonne S entfernt sind bis zur Unendlichkeit hin, würden Berührungspunkte innerhalb dieser kleinen Länge geben, mithin schadet ein kleiner Fehler in der Feststellung des Ortes T schon ungemein. Man bestimmt deshalb astronomisch die Parallaxe auf einem weit umständlicheren Wege, der viel grössere Genauigkeit ermöglicht, nämlich durch Beobachtung der Venusdurchgänge, d. h. der Vorbeigänge der dann dunkel erscheinenden kleinen Venusscheibe vor der Sonne.

Dieselben geschehen selten, etwa jedes Jahrhundert zweimal (am 9. 12. 1874, 9. 12. 1882, 7. 6. 2004, 6. 6. 2012); es kommt alsdann darauf an, von mehreren Standorten der Erde aus gleichzeitig die Sehnen zu beobachten, welche die Venus in dem Sonnenkreise scheinbar beschreibt. Man rüstet darum Expeditionen aus zur Beobachtung an vielen Stellen der Erde (siehe Uebungen).

Ueberhaupt ist es zur Beobachtung der Winkel eines Parallaxendreiecks unbequem, gerade Orte aufzusuchen, in denen das Gestirn im Zenit und im Horizonte steht. Es ist nicht schwer, einen Ausdruck für die kleinere Parallaxe für zwei Orte A und etwa O zu finden; in O erscheint die Sonne nicht im Horizonte, sondern in einer gewissen Höhe, darum heisst diese kleinere Parallaxe die Höhenparallaxe OSM für den betreffenden Ort bei der betreffenden Höhe. Aus ihr findet man leicht durch blosse Rechnung die

Digitized by Google

Horizontalparallaxe (Uebungen). Auch kann man den unbequemen Ort A vermeiden und dafür einen beliebigen anderen, z. B. O_2 wählen, also die entsprechenden Beobachtungen an irgend zwei Orten O und O_2 anstellen, deren Lage man kennt, und nun durch einfache Rechnung aus der Summe der Höhenparallaxen p finden. Natürlich sind trotzdem die Venusdurchgänge das beste Mittel, von dem einzig und allein noch grössere Genauigkeit zu erwarten ist. Bisher ergaben die Beobachtungen und Berechnungen als wahrscheinlich richtigsten Wert etwa 8,8″. Danach beträgt die Sonnenentfernung von der Erde etwa 149 Millionen Kilometer oder 20 Millionen Meilen. Natürlich ist dies verschieden je nach der Sonnennähe und Ferne, ebenso ist der scheinbare Halbmesser der Sonne verschieden, er beträgt im Mittel fast 16′. Leicht kann man nun hieraus und durch die Sonnenentfernung (trigonometrisch) aus einem Dreiecke den wirklichen Sonnenhalbmesser als etwa 109 Erdradien oder etwa 700000 km (692650) berechnen.

Uebungen 18.

1. Es hänge von der Decke eines gewölbeartigen Zimmers an einem kurzen Faden eine kleine, glänzende Glaskugel herab, wieso erscheint sie an verschiedenen Stellen des Hintergrundes, wenn man seinen Beobachtungsort wechselt? 2. Wieso ist p stets eine Anzahl von Bogensekunden? Wo liegt der Winkelpunkt einer Parallaxe? Wieso ist die scheinbare Entfernung der Orte am Hintergrunde nicht geradezu selbst die Parallaxe? 3. Unter welchen Umständen wird man den Be-

Digitized by Google

griff Parallaxe ganz im Allgemeinen gebrauchen? 4. In welcher Reihenfolge muss man die folgenden Grössen berechnen: Sonnenabstand, scheinbare Sonnengrösse, Parallaxe der Sonne, Höhenparallaxe der Sonne, Summe der Höhenparallaxen der Sonne für zwei beliebige Orte, Entfernung der Beobachtungsorte, wirkliche Sonnengrösse? 5. Man merke sich die Grösse von p, die wirkliche mittlere Sonnenentfernung, den scheinbaren und wirklichen Sonnenradius. 6. Wieso ist in Figur 13 $\sin p$ gleich $r : MS$? [7. Wieso ist in Dreieck MOS Winkel MSO die Höhenparallaxe, Winkel M oder Bogen ZM_1 die wirkliche (wahre) Zenitdistanz, Winkel ZOS_1 die scheinbare Zenitdistanz? Wieso ist Winkel M gleich Winkel ZOS weniger OSM? Man drücke diesen Satz in Worten aus. 8. Wieso ergiebt sich: Sinus der Höhenparallaxe: sin der scheinbaren Zenitdistanz gleich Erdradius zur Sonnenentfernung MS? Wieso ergibt sich dann unter Benutzung des Dreiecks der Horizontalparallaxe: $\sin p = \sin p_1$ (Höhenp.): $\sin z$ (scheinb. Zen.-Dist.)? Wieso darf man bei sehr kleinen Winkeln statt der sinus die Gradanzahlen selbst setzen? Man spreche den sich ergebenden Satz $p = p_1 : \sin z$ in Worten aus. 9. Wieso kann man statt des sin der scheinbaren Zenitdistanz den cos der scheinbaren Höhe (Höhe bis zum scheinbaren astronomischen Horizonte) setzen? 10. Man drücke sowohl für den Ort O wie für den Ort O_2 die Höhenparallaxen aus, addiere sie, drücke also ihre Summe durch die Summen der scheinbaren und wahren Zenitdistanzen aus. Wieso haben die letzteren mit dem Breitenunterschied der beiden Orte zu schaffen? Man beweise schliesslich den

Digitized by Google

Satz (unter Benutzung der obigen Sätze zwischen p und p_1): der Sinus der Horizontalparallaxe ist gleich der Summe der Höhenparallaxen zweier Orte, dividiert durch die Summe ihrer (scheinbaren) Zenitdistanzen (natürlich ist gemeint die Zenitdistanz des beobachteten Sternes für die beiden Orte). Wieso dürften eigentlich nur sinusse in dieser Formel vorkommen anstatt der blossen Winkel? 11. Weshalb geht die Venus beim Venusdurchgang von O nach W an der Sonnenscheibe vorüber? Weshalb sieht man die Venus von zwei verschiedenen Orten aus (wenn sie nicht gerade beide in einer zur Sehne parallelen Richtung liegen) zwei verschieden lange, aber parallele Sehnen durch die Sonnenscheibe scheinbar ziehen? 12. Es sei in Figur 13 S nicht die Sonne, sondern der Stern Venus. Man beobachte dieselbe vom Orte O aus und erblicke an der Sonnenscheibe in S_1 eine Sehne, die der Mittelpunkt der dunklen Venus ziehe — in der Figur sieht man diese Sehne nur als einen Punkt S_1, da die Figur von der Seite her gedacht ist. Ebenso deute Punkt S_2 die Lage der vom Orte O_2 aus gesehenen anderen Sehne in der Sonne an. Dann erscheint der Abstand der beiden Orte von der Venus S aus unter dem Winkel α oder $O S O_2$, von der Sonne S_1 unter dem Winkel $\beta = O S_1 O_2$. Diese Winkel sind wieso Summen von Höhenparallaxen, diese aber Teile der Horizontalparallaxen der Venus und der Sonne? Wieso kann man nach den vorigen Fragen aus solchen Summen die Horizontalparallaxen finden? Es kommt nun darauf an, diese Summen von Höhenparallaxen, also die Winkel α und β zu finden. Dann kann man auch die Sonnen-

Digitized by Google

parallaxe berechnen. Als Winkel desselben Dreiecks (α ist Aussenwinkel zu β und γ) verhalten sie sich (eigentlich ihre sinus) wie die Sonnenentfernung $S_1 O_2$ zur Venusentfernung $S O_2$. Kennt man also das Verhältnis der Entfernungen beider Gestirne von der Erde, so kennt man auch das Verhältnis der beiden Winkel. Es ist nun nicht schwer, bei einer gewissen Konstellation das Verhältnis des Venussonnenabstandes m zum Erdsonnenabstande n zu finden, nämlich dann, wenn der Venussonnenabstand uns am grössten erscheint, wenn also die Linie Erde-Venus eine Tangente an die Venusbahn bildet. Den scheinbaren Venussonnenabstand kann man dann als Winkel messen, sein sinus ist gleich m:n. Hierfür ergab sich 0,7233:1. Wie findet man daraus n—m:n, d. h. das Verhältnis von $\beta:\alpha$? Hat man aber das Verhältnis zweier Grössen, so findet man dieselben selbst leicht, wenn ausserdem ihre Differenz $\alpha—\beta$, also γ oder der Winkel $S_2 O_2 S_1$ bekannt ist. 13. $S_2 S_1$ ist der scheinbare Abstand der beiden von der Venus scheinbar gezeichneten Sehnen. Es muss das Bestreben der Astronomen sein, diesen Abstand möglichst genau zu finden. Sehen kann man die beiden Sehnen nicht, denn vom Orte O_2 aus erblickt man die Venus nur, während sie die Sehne S_2 zeichnet. Man muss also durch eine Rechnung jenen Abstand nachträglich aufsuchen. Da der scheinbare Sonnenhalbmesser durch Beobachtung bekannt ist, so brauchte man z. B. noch die Länge der von O_2 aus beobachteten Sehne und ausserdem die der von einem anderen Orte O aus beobachteten Sehne S_1 zu haben. Wieso findet man daraus durch mehrmalige Anwen-

Digitized by Google

dung des Pythagoräischen Satzes den Sehnenabstand? Auf den Venusexpeditionen ist mithin die Aufgabe zu lösen durch genaueste Beobachtung mittelst genauer Fernröhre und Winkelapparate (Heliometer) solche Messungen zu machen, dass man daraus γ berechnen kann. Dabei liegen noch viele Schwierigkeiten vor. Man muss z. B. die Mitte der kleinen Venusscheibe feststellen können und ihren Abstand von der genauen Sonnenmitte mehrfach finden. Hierzu benutzt man wieder die Ränderbeobachtung und Aehnliches, was in die Astronomie gehört. 14. Es sei der Sehnenabstand gefunden gleich 30″, wie gross ist dann α und β? Wie findet man dann p, wenn die Lage der Beobachtungsorte bekannt ist? 15. Wieso muss man bei Parallaxenfeststellnngen auch auf die Abplattung Rücksicht nehmen und z. B. von einer Aequatorial-Höhenparallaxe sprechen? 16. Wie berechnet man, dass ein Aequatorpunkt in 1^m etwa 28 km zurücklegt, die Erde in ihrer Bahn etwa 30 km (4 Meilen) in 1^{sec}? Wieviel mal so schnell ist sie als ein Eisenbahnzug von 20 m Geschwindigkeit?]

19. Die Geschwindigkeit des Lichtes.

Zugleich mit der Sonnenparallaxe findet man auch die der Venus, mithin auch deren Entfernung; für die ferner stehenden Planeten kommt uns das dritte Keplersche Gesetz zu Hilfe.

Sind die Ansichten des Kopernikus und die Keplerschen Gesetze wahr, so muss die Erde eine beträchtliche Bahngeschwindigkeit (etwa 30 km in einer Sekunde) besitzen und im Laufe eines Jahres einen gewaltigen

Digitized by Google

Weg zurücklegen. Man sollte denken, dass uns auch die nicht allzu fern stehenden Fixsterne von einem Erdort, z. B. bei der Sonnennähe, an etwas anderer Stelle erscheinen würden als vom Orte der Sonnenferne aus. Wir müssten dann den Durchmesser der Erdbahn als Standlinie betrachten und vermuten, dass die Fixsterne oder wenigstens irgend einer, besonders nahe schwebender, für diese ungeheure Standlinie eine (jährliche) Parallaxe zeigen würden. Der Himmel mit den übrigen etwa gar nicht verschoben erscheinenden Fixsternen wäre in Beziehung auf diesen Fixstern beliebig weit entfernt vorzustellen.

Sobald man für irgend einen Fixstern eine Parallaxe fände, die ganz unzweifelhaft mit der Grösse der Erdbahn zusammenhinge, so wäre damit direkt bewiesen, dass die Erde um die Sonne liefe, diese aber wenigstens in Bezug auf die betreffende Parallaxenbeobachtung, also beziehlich der sicher um sie herumlaufenden Erde still stände. Nach einem solchen direkten Beweise für die Erdrevolution suchte schon der englische Astronom Bradley, der in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts lebte; er fand aber keine Fixsternparallaxe (dies gelang erst über ein Jahrhundert später Struve und Bessel mit noch viel feineren Instrumenten, die Winkel unter einer Sekunde zeigen). Indessen fand er eine andere Winkelabweichung, die aber aus verschiedenen Gründen (siehe Uebungen) nicht für die Parallaxe passte — sie war z. B. für alle Fixsterne dieselbe, wenn dieselben in derselben Richtung zur Erdbewegung erschienen. Dadurch gelangte er zur Entdeckung eines anderen Beweises für die Bahn der Erde.

Digitized by Google

Dieser hängt damit zusammen, dass die so rasch forteilende Erde mit einer anderen raschen Bewegung gewissermassen sich schneidet, welche von allen Fixsternen mit gleicher Geschwindigkeit herkommt, mithin nicht mit der Entfernung derselben zusammenhängt, einer von allen gelieferten Erscheinung, dem Lichte.

Schon bei unseren ersten Betrachtungen mussten wir eine Eigenschaft des Lichtes berücksichtigen, die Refraktion oder Strahlenbrechung. Das Licht überhaupt vermittelt uns alle Kenntnis der Gestirne und der Erde. Die Refraktion ist schon bei irdischen Entfernungen sehr merklich. Es war nicht ausgemacht, dass nicht etwa noch eine andere Eigenschaft des Lichtes unter Umständen sehr wesentlich sich geltend machen könne. Das musste sich durch die Entdeckung von irgend welchen, eine Rechnung störenden Fehlern zeigen. Als man anfing sehr entfernte Gestirne genauer zu beobachten und ihre Zeiten sehr genau festzustellen, nämlich den Jupiter mit seinen Monden, stiess man auf einen Widerspruch der Berechnung mit der Beobachtung und entdeckte dabei eine Eigenschaft des Lichtes, die bei kleinen Entfernungen nicht sehr störend war, nämlich seine sogenannte Geschwindigkeit. Das war noch vor Bradleys erwähnten Untersuchungen.

Der dänische Astronom Olaf Römer beobachtete die vier Monde des Jupiter, welche bereits seit Galilei bekannt waren und im Jahre 1610 von ihm durch sein neuerfundenes (galiläisches) Fernrohr (Opernglaskonstruktion) gesehen wurden. Diese (neuerdings ist ein fünfter entdeckt) befolgen die Keplerschen Gesetze, indem sie natürlich statt um die Sonne, um den Jupiter

Digitized by Google

herumeilen, während dieser Planet mit ihnen um die Sonne eilt. Sie werden häufig verfinstert, indem sie, von der Sonne aus gesehen, hinter den Jupiter treten. Römer beobachtete den Eintritt solcher Verfinsterungen zur Zeit, wo der Jupiter der Erde am nächsten, also in Opposition mit der Sonne stand. Es lässt sich berechnen, wann für jede Zeit des Jupiterumlaufs Verfinsterungen eintreten müssen. Er fand zu seinem Erstaunen, dass, je ferner der Jupiter der Erde war, um so mehr die Verfinsterungen später eintraten, als die Berechnungen verlangten, z. B. bei der grössten Erdferne, also bei der Konjunktion mit der Sonne, um etwa 1000 Sekunden zu spät. (Genauer 986 S.). Das konnte nicht an Rechenfehlern liegen. Er schloss daher, dass die Monde zwar der Rechnung entsprechend hinter den Jupiter treten, man dies aber auf der Erde bei grösserem Jupiterabstande später sehe, oder dass das Licht eine Zeit gebraucht, um grosse Räume zurückzulegen, nämlich etwa 1000 Sekunden zum Durchlaufen vom Durchmesser der Erdbahn, also von etwa 40 Millionen Meilen. Also wird auch das Erlöschen des Lichtes eines dann verdunkelten Mondes erst nach der Zeit bemerklich, die das im letzten Momente vorher von dem Monde ausgesendete reflektierte Sonnenlicht zur Zurücklegung der Entfernung bis zum Beobachter gebraucht (man stelle eine Zeichnung her).

Schluss. Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt etwa 40 000 Meilen oder gegen 300 000 Kilometer (in 1 S.). Dies ist später durch ganz andersartige Versuche von Physikern bestätigt worden. Entdeckung Römers 1675.

Digitized by Google

Uebungen 19.

1. Wie viel Zeit gebraucht das Licht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen? Treten die von uns beobachteten Himmelsvorgänge wirklich zur Beobachtungszeit ein? Wieso stört diese Ungenauigkeit in den meisten Fällen nicht, wann aber wird sie stören? 2. Angenommen, das Licht ginge nicht in gerader Linie vorwärts, sondern könnte im Kreise um die Erde herumlaufen, wieviel Zeit würde es gebrauchen zu einem Aequatorumlauf, wieviel mal liefe es in einer Sekunde herum? 3. Man gebe die Geschwindigkeit des Lichtes genau an nach den mitgeteilten genaueren Angaben über die Verspätung der Trabantenverfinsterung. 4. Man ziehe eine Linie von der Erdferne zur Erdnähe. Warum würden diejenigen Fixsterne, die am beobachteten Himmel in Richtung dieser Linie liegen, keine Parallaxe zeigen, auch wenn sie nahe genug wären, um dies bei anderer Richtung zu können? Wieso muss man für Aufsuchung ihrer Parallaxe einen anderen Durchmesser der Erdbahn als Standlinie wählen? 5. Wieso beschreiben diejenigen Fixsterne, welche in der Erdbahn liegen, als Parallaxe nur eine kleine gerade Linie am Himmel, während Sterne, welche in einer Richtung senkrecht zur Erdbahnebene liegen, einen Kreis oder vielmehr eine kleine Ellipse scheinbar beschreiben, während die Erde ihre Bahn vollendet? 6. Wieso ist die Parallaxenkurve der zwischen jenen Richtungen erscheinenden Fixsterne stets eine, mehr und mehr abgeflachte Ellipse, deren grosse Axe aber immer dieselbe Grösse hat? 7. Wenn die Verbindung der Sonne mit einem Fixsterne innerhalb der Erdbahnebene (Zeich-

Digitized by Google

nung anfertigen!) gerade durch die Erde ging, so erschien Bradley die von ihm beobachtete Winkelabweichung am grössten, gleich Null aber in den davon um 90° Grad entfernten Orten der Erde — wieso konnte es also keine Parallaxe sein?

(8. Welche Ansicht hatte Newton und welche Huygens über das Wesen des Lichtes? 9. Welches ist die Konstruktion des Galileischen Fernrohres? 10. Durch welche Methoden berechnete man später auch auf der Erde, also bei irdischen Entfernungen die Geschwindigkeit des Lichtes?)

20. Die Aberration des Fixsternlichtes.

Dem Astronomen Bradley war die Geschwindigkeit des Lichtes bereits bekannt. Er gelangte aber auf den Gedanken sie mit der Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn in Beziehung zu setzen durch eine zufällige Beobachtung auf einer Fahrt. Er fuhr 1728 auf einem rasch getriebenen Schiffe die Themse entlang. Durch den herrschenden Wind nahm die Fahne auf der Spitze des Mastes eine bestimmte Richtung an, die sich sogleich veränderte, wenn das Schiff sich nach rechts oder links dem Ufer näherte. Die Schiffer erklärten ihm auf seine Frage, dass nicht etwa ein Windumschlag, sondern die veränderte seitliche Bewegung des Schiffes daran schuld sei, der Wind selbst behalte dabei seine frühere Richtung. Bradley verglich nun die Geschwindigkeit des Windes mit derjenigen des Lichtes und die des Schiffes mit derjenigen der Erde auf ihrer Bahn.

Nehmen wir an, das Schiff habe sich nach Westen zu bewegt und es habe Westwind geherrscht. Dann

Digitized by Google

mussten die Luftteilchen zu beiden Seiten der Fahne diese in der Windrichtung halten. Zwei Luftteilchen, die z. B. beiderseits zuerst am Maste sich befanden, gelangten nach einiger Zeit durch die Luftbewegung mehr nach dem Hinterteil des Schiffes zu und strichen also nach Osten hin an dem Tuche der Fahne entlang, während neue Luftteilchen ihnen folgten. Nehmen wir nun an, das Schiff bewege sich seitlich, also etwa mehr nach Süden zu. Zwei Luftteilchen, die dicht am Maste auf beiden Seiten des Tuches sich befinden, bewegen sich wie bisher nach Osten zu. Sind sie bis zur Spitze der Fahne gelangt, so ist inzwischen das Schiff mehr südlich zur linken Seite geglitten, der Mastbaum befindet sich also jetzt nicht mehr westlich von jenen Luftteilchen, sondern mehr südwestlich. Also muss auch das Ende der Flagge, die den Luftteilchen folgt, vom Maste aus gerechnet, mehr nach Nordosten liegen. Man beachte dabei, dass nicht die Luftteilchen ihre Richtung wesentlich ändern (wenn man von dem Widerstande des Tuches absieht), dass sie nach wie vor von Westen nach Osten streichen, dass aber am Maste immer andere Luftteilchen sich an die Fahne schmiegen, nämlich bei der südlichen Bewegung des Schiffes immer mehr solche, die weiter südlich lagen, als sie auf den Mast stiessen.

Regel. Die Windfahne nimmt, wenn man sie in anderer Richtung fortträgt wie die des Windes, einen Winkel gegen die Windrichtung an, und zwar weicht die Stange der Fahne nach derjenigen Seite ab, nach der sich der Fahnenträger bewegt. Nicht der uns entgegen eilende Stoff ändert seine Richtung, sondern die

Digitized by Google

Linie, welche die nach einander auf uns zukommenden Stoffteilchen miteinander gebildet haben, ist eine andere.

Fährt nun das Schiff auf einem grossen See im Kreise herum, während die Windrichtung dieselbe bleibt, so ändert bei genügender Geschwindigkeit des Schiffes (Mastbaumes) die Fahne ihre Richtung nach allen Seiten; biegt das Schiff nach rechts um, so neigt sich die durch die Fahne nach dem Mastbaum hin gezogene Linie nach rechts, und zwar immerfort, wenn wir immerfort die Fahrt nach rechts krümmen; entsprechend bei Drehung nach links herum.

Bewegt sich die Erde auf ihrer Bahn gerade auf einen Fixstern zu, so gelangen in unser Auge nach einander Punkte desselben Lichtstrahles. Nun gilt die folgende Regel über die Richtung, in der wir einen Gegenstand sehen.

Thatsache. Wir sehen einen leuchtenden Punkt in der Richtung, welche die unmittelbar nach einander in unser Auge tretenden Punkte von Lichtstrahlen mit einander gebildet haben.

In obigem Falle sehen wir also den Stern in der geraden Linie seines Lichtstrahles. Anders wenn wir uns beim Sehen rasch seitlich von der Stelle bewegen. Hier sind es nicht Luftteilchen wie bei der Fahne, sondern die Punkte von irgend welchen, vom Stern kommenden Lichtstrahlen. In das Ende eines vor das Auge gehaltenen Fernrohres gelange zuerst ein solcher Punkt. Dieser eilt gerade auf uns zu, wir aber bewegen uns nun seitlich, indem die Erde mit uns sich auf der Krümmung der Ekliptik seitlich bewegt. Folglich gelangt jener Punkt nur dann in unser Auge,

Digitized by Google

wenn die Mitte des unteren Fernrohrendes so weit zurücklag, dass es gerade zum Punkt gelangt, wenn dieser die Fernrohrlänge durcheilt hat. Also muss das Fernrohr einen kleinen Winkel mit der Richtung des Lichtstrahles gebildet haben. Während wir nun in der Erdbahn weiter eilen, gelangen stets neue Punkte anderer von demselben Stern kommenden (nahezu parallelen) Lichtstrahlen in das obere Fernrohrende. Sie alle bilden untereinander dieselbe Richtung, welche das Fernrohr haben muss, um uns den Stern sehen zu lassen. Der Winkel, um den der Stern verschoben erscheint, heisst die Aberration oder der Aberrationswinkel (lat. Abirrung). In Wahrheit irrt nicht der Lichtstrahl des Fixsternes ab, sondern die Orte, welche der zu uns kommende Lichtpunkt in den bewegten Gegenstand (das Fernrohr oder die Erde) hineinzeichnet, weichen fortwährend von der Richtung des Lichtstrahles im Sinne unserer Bewegung ab, oder die gerade Linie, welche die nach einander in unser Auge gelangenden Punkte verschiedener Lichtstrahlen miteinander bildeten, weicht um jenen Winkel von der Richtung Auge — Stern ab.

Beide Linien bilden einen Winkel von nahezu 20″, wenn die Aberration am grössten ist, d. h. wenn sich die Erde am schnellsten seitlich zum Lichtstrahl bewegt oder wenn der Lichtstrahl gerade in die Richtung des Erdradius fällt. Kommen die Lichtstrahlen von entsprechend gelegenen Sternen senkrecht zur Erdbahnebene an, so haben die Aberrationen stets nahezu jenen grössten Wert, sofern man annimmt, dass die Erde stets dieselbe Geschwindigkeit habe. Auch sche-

Digitized by Google

solcher Fixstern im Laufe des Jahres am Himmel eine kleine Ellipse, ein Abbild der Erdbahn, zu beschreiben.

Man kann sich stets ein rechtwinkliges Dreieck bilden, dessen eine grössere Kathete von dem Lichtstrahl geliefert wird, dessen kleinere aber durch diejenige Komponente der Erdgeschwindigkeit gebildet wird, welche zu jener Richtung senkrecht steht. Die Hypotenuse bildet mit der grösseren Kathete die Aberration. Daraus erkennt man, in wiefern mathematisch diese von der Grösse der beiden Geschwindigkeiten abhängt; denn die Katheten müssen sich in solchem Dreieck verhalten wie die Geschwindigkeiten, welche senkrecht zu einander gerichtet sind. Die Hypotenuse ist die Fernrohrrichtung, d. h. die Richtung, in der wir den Stern sehen, wo er zu stehen scheint.

Uebungen 20.

1. Eine Kanonenkugel durchbohre ein Schiff, indem sie senkrecht zur Kielrichtung ankommt, welche Linie zeichnet sie in den Schiffskörper? 2. Man zeichne mit Kreide an die Tafel einen Strich von oben nach unten, und fahre gleichzeitig mit einem Blatte Papier von rechts nach links über die Tafel, so dass die Kreide auch das Papier bestreicht. Welche Linie zeichnet sie darauf, falls das Papier rechteckig war und 2 Seiten senkrecht zur Kreidelinie lagen? Wieso hängt die Schiefe dieser Linie von beiden Geschwindigkeiten ab? [3. Wieso verhalten sich die Katheten im Aberrationsdreieck wie 40000 : 4, falls die Geschwindigkeit der Erde (4 Meilen) senkrecht zur Sternrichtung steht? Wie findet man durch die gonyometrische Tangente loga-

Digitized by Google

rithmisch den Aberrationswinkel? 4. Wie müssen wir ein Papprohr halten, damit ein gleichmässig geschwindes Kügelchen stets in der Mitte darin herunter fällt und zwar erstens, falls wir still stehen, d. h. dieselbe seitliche Geschwindigkeit wie der Fallkörper haben, zweitens, falls wir gehen? Endlich, falls der Körper, wie in der Natur, immer geschwinder fällt? 5. Wie muss ein Schacht gebaut sein, wenn ein fallendes Bleikügelchen stets in der Mitte der horizontalen Querschnitte bleiben soll? 6. Weshalb hören wir Schwebungen, falls eine schwingende Stimmgabel rasch dem Ohre genähert und davon entfernt wird? Was hat dies für Vergleichspunkte mit einem Lichtstrahle, der auf uns zueilt, während wir uns in seiner Richtung hin und her bewegen?]

21. Die Mondbahn.

Eine für uns nicht ganz so wichtige Rolle wie die Sonne spielt unser Mond. Er vermag uns keine Wärme zu bieten, da er nur matt leuchtet, doch erhellt er oft unsere Nächte oder einen Teil derselben. Er erscheint in bedeutender Grösse, sein scheinbarer Durchmesser (im Mittel 31′ 5, 6″, grösster Wert 33′ 32″, kleinster 29′ 24″) ist fast derselbe wie bei der Sonne. Auch er behält nicht seine Stellung unter den Fixsternen bei, wenn er auch scheinbar täglich von Ost nach West sich bewegt, was wir der Erdrotation zuschreiben werden. Er bleibt fortwährend beträchtlich unter den Sternen zurück (im Mittel täglich 13° 10′ 35″, zur Zeit seiner schnellsten Bewegung etwa 15°). Am deutlichsten bemerken wir dies nach derjenigen Zeit, wo er nahezu in der Richtung nach der Sonne zu erscheint. Aller-

Digitized by Google

dings sehen wir dann gar keinen oder nur einen geringen Teil seiner Oberfläche hell, den grösseren nur ganz matt beleuchtet. Es kommt sogar nicht sehr selten vor, dass er genau in der Richtung der Sonne steht und diese dann teilweise oder ganz verdeckt, so dass wir nur den Strahlenkranz oder hellleuchtenden Rand der Sonne sehen (Sonnenfinsternis, partiale und totale).

Schluss. Der Mond steht näher als die Sonne. Da er zur Zeit der Sonnenfinsternis dunkel ist, so hat er kein eigenes Licht, sondern wird auf der einen Seite durch die Sonne erleuchtet.

Nahezu in der Richtung der Sonne, nämlich so, dass er dieselbe Länge (Sternenlänge) hat, aber über oder unter der Ekliptik steht er viel häufiger als diese Verfinsterungen eintreten, nämlich etwa alle 30 Tage (genau $29^d\,12^h\,44^m\,2{,}9^s$). Daher benutzte man schon seit den ältesten Zeiten den Mondlauf zur Zusammenfassung dieser Tageanzahl zu sogenannten Monaten (Monden); genau jene Zeit heisst heute ein synodischer Monat (griechisch Synode, Zusammenkunft, nämlich mit der Sonne). Seine Sternbreite ist in den meisten Fällen also vorhanden, freilich nur gering. Stets wendet er uns dann seine dunkle Seite zu, was wir durch das Wort Neumond bezeichnen, seine alsdann äusserst geringe Helle erhält er durch Wiederschein von der beleuchteten Erde.

Bald nach Neumond sehen wir den Mond östlich von der Sonne, er bleibt fortwährend hinter ihr zurück, zugleich sehen wir den sichelförmigen Teil seiner durch die Sonne erleuchteten Hälfte (es ist etwas mehr als

Digitized by Google

die Hälfte wegen der Sonnengrösse) zur rechten Hand in Gestalt des oberen Bogens eines deutschen geschriebenen z (zunehmender Mond). Immer grösser wird diese Sichel, immer mehr einem Halbkreis ähnlich, während der Mond immer mehr zurückbleibt, also wenn die Sonne unterging, bei eintretender Nacht immer mehr nach Osten zu am dunklen Himmel aufleuchtet. Endlich erscheint er als Vollmond, dann streicht er während der Nacht über den Himmel.

Schluss. Zur Vollmondszeit steht der Mond von uns aus gerechnet gegenüber der Sonne. Fällt die Erde genau in die Linie Sonne, Mond, so geschieht es, dass der Erdschatten den Mond verfinstert (Mondfinsternis), meist freilich streicht der Mond über oder unter dem Erdschatten hin.

Weicht der Mond noch weiter zurück, so liegt er im ersten Teile der Nacht noch unter dem Horizonte und geht erst später auf und zwar erscheint er sichelförmig, nach Art des linken Bogens eines geschriebenen a (abnehmender Mond). Endlich scheint er noch oben am Himmel, wenn schon die Sonne aufging, bis er schliesslich wieder bis in die Nähe der Sonne zurückweicht.

Schluss. Der Mond bewegt sich in bestimmter, weit unter einem Jahre liegender Frist je einmal um die Erde herum. Beobachtet man seine westöstliche Bewegung unter den Fixsternen, so findet man, dass die Zeit, die vergeht, bis er wieder in denselben Deklinationskreis mit einem bestimmten Stern tritt, weniger beträgt als der synodische Monat, nämlich $27^d\ 7^h\ 43^m\ 11,5^s$. Diese Zeit heisst ein side-

Digitized by Google

rischer Monat und bezeichnet den wirklichen, mathematisch genauen Umlauf, wie der Sterntag die genaue Rotation der Erde angiebt. Es ist auch begreiflich, dass der synodische Monat länger ist, denn die Sonne ist während des Mondumlaufs bekanntlich zurückgewichen, so dass der Mond etwas mehr Zeit gebraucht, um sie wieder einzuholen.

Auffällig ist es, dass der Mond sich nie weit von der Ekliptik entfernt. Er steht einen Teil seiner Laufbahn unterhalb, hat mithin eine südliche Breite, einen anderen oberhalb und durchschneidet bei jedem Umlaufe jene Linie zweimal, einmal wenn er hinaufgeht, das anderemal, wenn er in den südlichen Teil des von der Ekliptik halbierten Sternhimmels hinabsteigt, was in nahezu gleichen Abständen und nach gleicher Zeit sich wiederholt.

Schluss (aus genauen Beobachtungen). Seine Bahn findet nahezu in einer Ebene statt, die zur Ebene der Erdbahn eine Schiefe hat von im Mittel 5° 8′ 40″ (sie schwankt aber im Verlaufe eines synodischen Monats zwischen 4° 59′ 52,2″ und 5° 17′ 27,8″). Die Punkte, in denen der Mond die Ebene der Ekliptik durchschneidet, heissen Knoten (aufsteigender und absteigender d. h. Knoten beim Aufsteigen und beim Absteigen). Man nennt die Verbindung des aufsteigenden mit dem nächsten absteigenden Knoten Knotenlinie des Mondes.

Schluss. Die Knotenlinie liegt in der Ebene der Erdbahn und ist die Schnittlinie der Mondbahn und Erdbahnebene.

Thatsache. Sonderbarer Weise erscheint der

Digitized by Google

aufsteigende (oder absteigende) Knoten nach Verlauf eines entsprechenden Umlaufs des Mondes nicht genau wieder an derselben Stelle der Ekliptik, sondern bei jedem folgenden Male etwas weiter nach Westen gerückt. Wenn wir die tägliche Sterndrehung als Vorwärtsbewegung bezeichnen, so müssen wir sagen, der Knoten rückt vor, er hat eine Präcession (lat. Vorrückung). Die Zeit also, die der Mond braucht, um wieder von W her (nach O zurückgehend) aufsteigend die Ekliptik zu durchschneiden, ist noch geringer als die Zeit, um wieder dieselbe Stellung unter den Sternen zu erreichen, also geringer als der siderische, umsomehr geringer als der synodische Monat. Man nennt diese den drakonitischen Monat (man könnte auch sagen, Knotenmonat), er beträgt $27^d\ 5^h\ 5^m\ 35{,}7^s$. In der Zeit von 265 und 1/4 mittleren Sonnentagen (dem sogenannten Julianischen Jahre) rückt der Knoten unter den Sternen um 19° 21′ 19,532″ nach W vor, und er braucht über 18 Jahre (oder 6793,4 Tage), um wieder genau an derselben Stelle an der Ekliptik unter den Sternen zu erscheinen (siderischer Umlauf des Knotens).

Schluss. Derjenige Teil einer monatlichen Bahn, welchen der Mond in der nördlichen Welthälfte (von der Ekliptikebene aus gerechnet) zurücklegt, ist nicht immer nach der Sonne zugewendet, sondern ändert sich in der Lage zu Erde und Sonne und liegt auch dann und wann ausserhalb der Erdbahnellipse. Daher erscheint der Vollmond bald über, aber auch unter der Ekliptik.

Für die Beurteilung der Gesetze wird uns wichtig sein der Abstand des Mondes von der Erde. Natürlich

Digitized by Google

findet man ihn durch die Parallaxe und zwar entsprechend wie bei der Sonne, nur ist die Bestimmung leichter wegen der grösseren Nähe, dafür steht ein Mittel wie der Venusdurchgang nicht zur Verfügung. Die Aequatorialhorizontalparallaxe beträgt etwa 57′ 2″. Die Entfernung des Mondmittelpunktes vom Erdmittelpunkte ist je nach der Stellung ziemlich verschieden (da die Excentricität der Bahn etwa $^1/_{18}$ beträgt), sie ist im Mittel 385080 km (etwa 50000 Meilen). Aus einem rechtwinkeligen Dreiecke findet man dann den wirklichen Mondhalbmesser gleich 1740 km.

Der Mond befolgt beziehlich der Erde die Keplerschen Gesetze, mitsamt der Erde läuft er um die Sonne, beschreibt infolgedessen beziehlich der Sonne eine eigentümliche, langgestreckte, schlangenähnliche Bahn diesseits und jenseits, teils unterhalb, teils oberhalb der Erdellipse.

Uebungen 21.

1. Woraus kann man schliessen, dass der Mond eine krumme, geschlossene Bahn um die Erde macht? Woraus, dass der Mond stets ziemlich dieselbe, aber doch nicht genau dieselbe Entfernung von der Erde hat? 2. Mit welcher Geschwindigkeit läuft der Mond um die Sonne, abgesehen von seiner Geschwindigkeit gegenüber der Erde? 3. Wie gross ist die Bahn des Mondes um die Erde, wenn wir sie als kreisförmig annehmen? Wie gross der halbe Umlauf? 4. Wie gross ist die Geschwindigkeit des Mondes beim Umlauf, vorausgesetzt, dass dieselbe stets gleich sei? 5. Wieviel Meilen legt die Erde in einem halben Monate zurück? 6. Wievielmal so gross ist die Geschwindigkeit

Digitized by Google

des Mondes beziehlich der Sonne als die beziehlich der Erde? Wieso eilt er selbst dann beziehlich der Sonne vorwärts, wenn er sich beziehlich der Erde in entgegengesetzter Richtung wie die Erde bewegt (zeichne Sonne, Erde und Mond, sowie ihre Bahnen)? 7. Wieso beschreibt der Mond im Jahre eine flachwellenartige Kurve? 8. Wie oft schnitte er die Erdbahn, falls er genau in der Erdbahnebene stände, monatlich? Wie oft würde Sonnenbedeckung und Mondfinsternis eintreten? Was können wir daraus schliessen, dass dies nicht der Fall ist? 9. Es sei die Erdbahn auf einem ebenen Blatt Papier verzeichnet — wie oft durchlöchert der Mond das Papier? 10. Wieso steht der Mond, falls er einmal Sonnenfinsternis verursachte, nach einem Monate d. h. Wiederkehr in dieselbe Richtung von der Erde aus, nicht genau wieder in der Richtung Erde—Sonne? Wieso also ändert sich die Richtung der Knotenlinie auch beziehlich der Entfernung der Sonne von der (verlängerten) Knotenlinie? 11. Kann nach einer Mondfinsternis eine zweite vor Ablauf eines halben Jahres eintreten? 12. Welche Gestalt hat der Schatten der Erde (man denke an die Grösse der Sonne)? Wie lang ungefähr ist der Kernschatten? Derselbe wird gebildet, indem man alle möglichen gemeinsamen äusseren Tangenten von Sonne und Erde zieht (zeichne Figur). 13. Zeichne den Halbschatten der Erde mittelst der gemeinsamen inneren Tangenten. Was sieht man an irgend einem Punkte des Kernschattens und was von irgend einem Punkte des Halbschattens von der Sonnenscheibe? 14. Was ist eine totale und was eine partiale Mondfinsternis?

Digitized by Google

Wieso kann es keine ringförmige geben (dann dürfte der Kernschatten der Erde nicht bis zum Monde reichen — wieso)? 15. Wieso ist es möglich, dass bisweilen auf keiner Stelle der Erde eine totale, sondern nur eine partiale Mondfinsternis sichtbar ist? Wenn eine totale Mondfinsternis eintritt, ist es möglich, dass man an irgend einer Stelle der Erde nur eine partiale sieht? 16. Warum müsste die Sonnenfinsternis eigentlich Erdfinsternis heissen, oder Sonnenverdeckung? 17. Wieso kann es (selten) vorkommen, dass von gewissen Stellen der Erde eine ringförmige Sonnenfinsternis sichtbar ist? 18. Warum steht der Vollmond im Sommer ziemlich niedrig, im Winter viel höher am Himmel (gewissermassen wie eine Ergänzung das dann niedrigen Sonnenstandes für uns)? [19. Wie hoch erscheint der Mond beim aufsteigenden Knoten im Frühlingspunkte am Himmel zu Wintersanfang? Wieso dann zu Sommersanfang 28,5 Grad unter dem Himmelsäquator? Wie hoch also dann am Himmel beim Durchgange durch den Meridian zu Berlin? Wieso ist die Grenze des hohen Mondstandes für Berlin, ebenso die des niedrigen Mondstandes nur erreichbar, wenn der aufsteigende Knoten im Frühlingspunkte steht (was nur etwa alle 18 Jahre einmal vorkommt), und zwar mit 37,5 + 23,5 + etwa 5 Grad? Der niedrigste mit 37,5—28,5°? Wieso wird in diesen Fällen der Mond etwa 18 Stunden oder nur etwa 6 Stunden über dem Horizonte sein? Es fanden diese Fälle statt zuletzt im Oktober 1894. 20. Was sind Mondphasen (Erscheinungsformen), was das erste Viertel und das letzte? 21. Es hat sich als Thatsache ergeben, dass der Mond sich um eine Axe dreht, welche immer

Digitized by Google

dieselbe Neigung zur Axe der Ekliptik hat, nämlich 1° 36′ 39″, und dass die Rotationszeit mit der Umlaufszeit übereinstimmt? Wieso also dreht uns der Mond immer dieselbe Seite zu? Wieso ist ein Sterntag auf dem Monde gleich einem siderischen Monate, ein Sonnentag gleich einem synodischen? Unter welchem Winkel schneidet der Mondäquator die Ekliptik? 22. Wenn man (durch Beobachtungen) weiss, dass die Knotenlinie Schnitt der Mondbahn mit der Ekliptikebene, zugleich aber auch stets Schnitt der Ebene des Mondäquators mit der Ebene der Erdbahn ist, wieso beschreiben dann die Axen der Mondbahn unter dem Winkel (im Mittel) von 5° 8′ 40″ und die Drehungsaxe des Mondes unter dem Winkel von 1° 36′ 39″ Kegelmäntel um die feste Axe der Ekliptik (oder eine Parallele dazu) in gleicher Zeit? Und wieso stehen jene drei Axen in derselben Ebene, zwischen den beiden anderen die Ekliptikaxe? Wieso beschreiben jene beiden Axen Kreise am Himmel um den Ekliptikpol von welchen Grössen und in welcher langen Periode einmal? 23. Man zeichne eine Knotenlinie als Schnitt dreier Ebenen, nämlich der Ekliptik, der Mondbahn und des Mondäquators (oder vielmehr einer ihm parallelen Ebene), wieso ist die Ekliptik die mittelste dieser Ebenen und welches sind die Winkel je zweier dieser Ebenen? Zeichne dazu die drei Axen im Mittelpunkte der Knotenlinie in die Ebene des Papieres. 24. Wieso muss infolge der Kreiselbewegung der Mondaxe die Mondscheibe für uns im Laufe dieser langen Periode etwas hin und her gewendet erscheinen um etwa 1°37′(physische Libration)? Wieso bewirkt auch die Schiefe der Mondbahn, dass wir von demselben im Laufe des

Digitized by Google

Monats etwas mehr als die Hälfte sehen (optische Libration in Breite). 26. Da die Axendrehung des Mondes gleichförmig ist, sein Lauf auf der Bahn aber bald schneller, bald langsamer, so ergibt dies ebenfalls eine scheinbare Schwankung, warum heisst sie optische Libration in Länge? 27. Wieso sehen wir den Mond bei der täglichen Erdumdrehung von zwei verschiedenen Stellen aus, also ein wenig mehr als zur Hälfte (parallaktische Libration). 28. Wieso lassen die sämtlichen Librationen den Mondmittelpunkt teils parallel, teils senkrecht zur Ekliptik um einige Grad verschoben erscheinen? 29. Wie mag es kommen, dass in der Zeit der Knotenumdrehung sich die Sonnen- und Mondverfinsterungen nahezu ebenso wiederholen, nämlich für jede Periode circa 30 Mondfinsternisse und 40, allerdings nicht überall sichtbare Sonnenverdeckungen?]

22. Newtons Gesetz der Massenanziehung.

Die Thatsachen der Mondbewegung erscheinen uns sehr verwickelt, und doch konnte man erkennen, dass im Allgemeinen die Keplerschen Gesetze sich dabei zeigen. Aber erstlich kann man hierbei unmöglich den Mittelpunkt der Erde einfach als Brennpunkt der Ellipse annehmen und glauben, dass die Erde ihrerseits sich gar nicht um den nahen und nicht verschwindend kleinen Mond in ihrer Bewegung kümmere. Die Schwungkraft wird für den Lauf des Mondes um die Erde wie auch für den Lauf beider zusammen um die Sonne vorhanden sein, ebenso also eine anziehende entgegengesetzt wirkende Kraft zwischen allen dreien. Darüber sagt uns zweitens das Keplersche Gesetz nichts. Drittens

Digitized by Google

ist es auffällig, dass die Grösse der Sonne beträchtlicher als die der Erde und diese beträchtlicher als die des Mondes ist, der sich vornehmlich nach der Erde richtet. Auch die sonderbaren Schwankungen der Axen, die sich offenbar nach dem Umlaufe irgendwie richten, finden keine Erklärung. Schliesslich haben wir längst das Bedürfnis gefühlt, jene drei Gesetze möglichst zusammenzufassen, auf einen Ursprung, eine Naturkraft zurückzuführen.

Dies ist Newton gelungen, nachdem man mehrfach für die Anziehung versuchsweise falsche Gesetze angenommen hatte. Er fand das Gesetz der Anziehung, welches die ganze bekannte Welt beherrscht, in einer überaus einfachen Form. Durch Untersuchungen über den Fall und den Wurf kam er auf die Schwungkraft. Wirft man einen Körper in schräger Richtung empor, so kehrt er wieder zur Erde zurück. Je grösser die erteilte Geschwindigkeit ist, umso grösseren Bogen beschreibt er, freilich kommt es dabei auch auf die Richtung an. Newton kam nun auf den Gedanken, dass bei einer sehr grossen Anfangsgeschwindigkeit und passender Richtung der Körper gar nicht wieder zurückkehren, sondern immer um die Erde herumkreisen würde. Dies geschieht niemals, da die Luft schliesslich jede Geschwindigkeit aufhebt, aber in grosser Höhe, etwa da, wo der Mond schwebt, also keine Atmosphäre mehr ist und bei einer alle von uns erzeugten übertreffenden Geschwindigkeit könnte und müsste es der Fall sein. Dann wäre die Fliehkraft gerade gleich der Anziehungskraft. Bei anderen Richtungen der erteilten seitlichen Bewegung und bei anderem Kraftverhältnis

Digitized by Google

würde anstatt eines Kreises eine Ellipse oder ein anderer Kegelschnitt entstehen (Hyperbel, Parabel, falls der Körper wie mancher Komet aus unendlicher Ferne herankäme zum anziehenden Körper, z. B. die Sonne.) Er fand auf mathematischem Wege, dass eine solche Form der Bewegung entstehen würde, falls man das folgende (Newtonsche) Gesetz für die Grösse der Anziehung annimmt:

Je zwei Körper der Welt ziehen sich mit einer Kraft an, die proportional ist den beiden Massen der Körper und umgekehrt proportional (im umgekehrten Verhältnis steht) dem Quadrate (zweiten Potenz) ihrer Entfernung.

Es fragt sich, was dabei Masse bedeutet. Dies wird uns klar durch Anwendung des Gesetzes im Bereich der irdischen Grössen, wo es natürlich auch gelten müsste. Hier nämlich ist die Grösse der Anziehung zwischen der Erde und einem Gegenstande das Gewicht p dieses Gegenstandes. Also zu dem Gewicht trägt bei 1. der Gegenstand selbst, 2. die Erde, 3. der Abstand. Und zwar bewies Newton, dass nach seinem Gesetze die Anziehung einer gleichmässig geschichteten Kugel derartig wirken müsste, als wäre die gesamte anziehende Masse im Mittelpunkte vereinigt. In der That zieht die Erdanziehung, abgesehen von der Abplattung und der Schwungkraft jeden Gegenstand in Richtung nach diesem Mittelpunkt des Aequators. Abstand bedeutet also Entfernung vom Erdmittelpunkte. Alle Körper fallen aber gleich schnell. Darum ist es möglich und bequem, den Zug fortzulassen, den irdische Gegenstände auf die grosse Erde ausüben, und das Ge-

Digitized by Google

setz kurz zu fassen: Jeder Körper zieht einen andern mit einer Kraft an, deren Mass gleich ist der Masse des ersteren, dividiert durch das Quadrat der Entfernung. Also wird g gemessen durch No. 2 und 3. Man muss das Gewicht dividieren durch g und erhält dann eine Grösse m, genannt Masse. Diese Grösse bleibt dem Gegenstande eigentümlich, wo er sich auch befinden mag, ob bei einem grossen Anziehungskörper oder ganz isoliert im Weltraume. Ebenso wird die Erde eine Masse haben, die wir m_1 nennen wollen. Dann haben wir die Formeln

$$p = m \cdot g \text{ oder } m = p/g$$

und die Grösse der Anziehungskraft wäre nach Newton

$$\frac{m \cdot m_1}{r^2}.$$

Es ist nicht ganz leicht sich vorzustellen, was diese Grössen eigentlich bedeuten. Die Buchstaben sind Zahlen; p z. B. bedeutet eine Anzahl Gewichtseinheiten, Kilogramme (kg ist das Gewicht eines cubdm Wassers bei 4° C. im Meeresniveau unter 45° n. Br.); g bedeutet Meter, $m = p/g$ aber bedeutet eine Anzahl weder von Metern noch von Kilogrammen, sondern von einer neuen Benennung, der Masseneinheit. Die Längeneinheit nimmt man wahr, ähnlich die Gewichtseinheit (durch Gefühl), die Masse nimmt man nicht wahr, sondern stellt sie sich nur vor. So schwer es zu sagen ist, was Masseneinheit an sich sei, so leicht können wir Anzahlen derselben, also Massen miteinander vergleichen. An ein und derselben Stelle der Erde ist g für alle Gegenstände dasselbe; also verhalten sich die Gewichte wie die Massen und umgekehrt. Denn schreiben wir

Digitized by Google

für m und m' die Gewichte dividiert durch g, so fallen bei dem Verhältnisse oder dem Bruche $m/m' = p/p'$ die Einheitsbenennungen fort und man erhält nur zwei gleiche Brüche aus blossen Zahlen.

Auf gleicher Stufe wie das Gewicht steht die Anziehungsgrösse Newtons, wir müssen sagen: sie ist

$$\frac{m \cdot m_1}{r^2}$$ Anziehungseinheiten.

Also darf man beide bei einem irdischen Gegenstande gleichsetzen, also, da für p zu setzen ist m. g, wäre $g = \frac{m_1}{r^2}$, wobei m_1 die Masse der Erde, r die Entfernung des Ortes, in dem das Mass der Erdanziehung gerade jenes g der Formel ist. Die Erde besitzt $g \cdot r^2$ Masseneinheiten. Durch g ist uns mithin eine Art Einblick in die Massengrösse der Erde gestattet.

Die Schwungkraft $(m \cdot v^2/r)$ vermag bei der Kreisbewegung z. B. des Mondes die Anziehungskraft aufzuheben, hat dieselben Einheiten wie die Anziehungsgrösse Newtons. Newton benutzte dies für die damals (1666) bekannte Bahn des Mondes, erhielt aber nicht genau die Grösse als Mass der Schwungkraft, welche nach Annahme seines Anziehungsgesetzes als Mass der Erdanziehung hätte folgen müssen. Aber das lag daran, dass man damals den Erdradius noch ungenau kannte. Als die genaueren Messungen durch Picard (demselben, der Richer zu seinen Pendelbeobachtungen in Cayenne veranlasste), ihm bekannt wurden, nahm er seine Berechnungen wieder auf, fand, dass sein Gesetz nun für die Mondbahn stimmte und veröffentlichte 1686 sein berühmtes Werk (philosophiae naturalis principia mathe-

Digitized by Google

matica) die mathematischen Grundlagen der Naturerkenntnis, (wobei er ausser dem oben Gegebenen bewies, dass die drei Keplerschen Gesetze mit Notwendigkeit aus seinem Anziehungsgesetze folgen, zugleich auch noch gewisse Axendrehungen und die Erscheinungen der Ebbe und Flut (siehe später) danach erklärte.

Der Flächensatz Keplers würde sich allerdings auch als Folge aus anderen Gesetzen der Anziehung ergeben der Ellipsensatz oder die Thatsache, dass ein seitlich bewegter Körper um einen Anziehungskörper einen Kegelschnitt (Ellipse, Parabel, Hyperbel, Kreis) beschreiben muss, lässt sich mathematisch finden aus Newtons Gesetze, noch leichter das dritte Gesetz (siehe unten). Uebrigens wird jeder Weltkörper, (der Centralkörper), um den sich ein anderer bewegt, auch seinerseits durch diesen Trabanten angezogen, deshalb muss man genau sagen: beide Körper beschreiben einen Kegelschnitt um den gemeinsamen Schwerpunkt beider, des Systems. Dieser würde bei gleich grossen Sternen mitten zwischen ihnen liegen, bei Sonne und Erde nahe beim Sonnenmittelpunkte, bei Erde und Mond noch in der Erde (im Durchschnitt 228 Meilen unter der Erdoberfläche, was aber um 34 Meilen wachsen oder abnehmen kann — siehe später), denn stets wird er näher dem Mittelpunkte des massigeren Körpers liegen. Die Sonne zieht viele Planeten an, die in verschiedenen Richtungen von ihr schweben. Wir können sie — ähnlich wie oben die Erde gegenüber irdischen Gegenständen — als feststehend ansehen, erhalten die Wahrheit aber nur dann, wenn wir die Massen der Planeten nicht ganz vernachlässigen. Besitzt der eine von

Digitized by Google

zwei einander anziehenden Körpern die Masse M und besässe nur er anziehende Kraft, so würde dieselbe in der Entfernung r das Mass haben M/r^2. Nehmen wir nun an, der eine ruhte, so würde der andere allein die Bewegung auszuführen suchen, die aus jenem Kraftmasse entspringt. Es ist dies gerade so, als wenn in dem ruhenden Körper die Masse beider $M + m$ vereinigt wäre. Für jeden Planeten ist jenes Mass der Anziehung gleich dem Masse der Schwungkraft $\frac{4\pi^2 r}{r^2}$. Hat der eine Planet die Masse m, die Entfernung r und die Umlaufszeit t, der andere m_1, r_1, und t_1, so folgt durch Division beider Gleichsetzungen das dritte Keplersche Gesetz in der Form $r^3 : r_1^3 = t^2 (M + m) : t_1^2 (M + m_1)$. Natürlich ist M die Sonnenmasse. In der That entspricht dies den wirklichen Bahnen noch genauer als die Form Keplers, bei der m und m_1 gleich wären und aus der Gleichung verschwinden würden.

Uebungen 22.

1. Wie kommt man auf die Vorstellung einer Erdmasse? 2. Wieso darf man von g nicht abziehen $m \cdot v^2 : r$, sondern nur $v^2 : r$? 3. Wieso verhalten sich die Werte für g in verschiedenen Höhen über dem Meere umgekehrt wie die Quadrate der Anstände vom Erdmittelpunkte (ohne Schwungkraftsberücksichtigung)? 4. Wieso müsste bei Richtigkeit des Newtonschen Gesetzes sein

$$\frac{4\pi^2 r}{t^2} = \frac{v^2}{r} = \frac{m_1}{r^2} = \frac{g \cdot r_1^2}{r^2}.$$

Man nehme für r die mittlere Mondentfernung in

Digitized by Google

Metern, t die Anzahl der Sekunden seines Umlaufes (als Kreis), g die Fallbeschleunigung im Aequator, r_1 der Aequatorradius in Metern. Wieso ergibt sich für den ersten und letzten Ausdruck 2,7 bis 2,6 mm? 5. Wieso beträgt das Mass der Anziehung oder die Fallgrösse der Sonne in der Erdentfernung im Mittel etwa 3,2 mm? 6. Wie gross ist die Fallgrösse der Sonne in der Mondentfernung bei Konjunktion und bei Opposition beider Gestirne? Wieso weicht sie in beiden Fällen von der Schwungkraft des Mondes in Beziehung auf die Erde ab? In welcher Richtung bewegt sich also der Mond durch diese Störung? 7. Berechne die Erdmasse aus der bekannten Mondfliehkraft, ebenso die Sonnenmasse aus dem mittleren Schwungkraftsmass der Erde in ihrer Bahn und beweise, dass die Sonnenmasse etwa 358 000mal so gross ist als die Erdmasse (oder genauer 355 500 bei genauer Berücksichtigung aller Massen — auch der des Mondes siehe bei Flut!). 8. Aus dem Sonnen-Erdabstand gleich 149 Millionen km und den Zeiten des siderischen Erdumlaufs 365,256 Tagen und Jupiterumlaufs 4332,588 Tagen den mittleren Jupiterabstand zu finden. Resultat 5,20256 Erdbahnradien. 9. Umgekehrt kann man die Zeit eines Planetenumlaufs berechnen (führe das am Jupiter aus!). 10. Zu zeigen aus den räumlichen Grössen und den Massen (die des Mondes sei gegeben — siehe bei Flut — als 0,0123 der Erdmasse), dass die Fallbeschleunigung auf dem Monde nur etwa $^1/_5$ bis $^1/_6$, auf der Sonne gegen 28mal so gross als auf der Erde ist. Wieso würden wir auf einem Körper von Sonnengrösse 28mal so viel wiegen?

Digitized by Google

23. Die drei Körper. Störungen, Flut und Ebbe.

Wir versuchen die Störungen uns nach Newtons Gesetz anschaulich zu machen. Niemals findet nur eine gegenseitige Anziehung zwischen zwei Himmelskörpern statt, höchstens angenähert, wenn zwei solche in ungeheurer Entfernung von allen anderen im Weltenraume schweben sollten. Der Erde steht sowohl Mond wie Sonne so nahe, dass die Gravitation unter diesen drei Körpern zwar einfach nach dem Newtonschen Gesetze wirkt, aber durch die Dreizahl der Körper und ihre eigentümlichen Stellungen und Geschwindigkeiten recht verwickelte Bahn-Beziehungen entstehen müssen. Allerdings ist die Erde bedeutend massiger als der Mond und lässt sich nicht allzusehr durch ihn beirren, und die Sonne wirkt bei ihrer Ferne einigermassen gleich auf Erde und Mond, sodass wir ziemlich richtig sprechen, wenn wir sagen, der gemeinsame Schwerpunkt von Erde und Mond beschreibe die Ellipse um die Sonne. Aber dennoch bewirkt die Verschiedenheit des Abstandes wie auch die Massenverschiedenheit der beiden angezogenen Körper und die Schiefe der Mondbahn, namentlich bei gewissen Stellungen Abweichungen. Die genaue Berechnung derselben (Problem der drei Körper) bietet auch für die höhere Mathematik erhebliche Schwierigkeiten; wir können uns ein Bild von den wichtigsten Störungen auf folgendem Wege machen.

In dem oberen Teile der Figur 14 sei S der Sonnenmittelpunkt, E die Erde mit dem noch in ihr liegenden, angedeuteten Schwerpunkte von Erde und Mond, die Bahn mit den Punkten M, M_1, A und B

Digitized by Google

die Mondbahn. Dann hat jener Schwerpunkt, die Erde und der Mond im Allgemeinen eine gewisse Geschwindigkeit v auf der Bahn um die Sonne, in der Figur durch Pfeile nach unten hin (von W nach O) angedeutet. Steht der Mond in M oder M_1, so ändert seine Geschwindigkeit auf der Bahn um die Erde nichts Wesentliches an der Geschwindigkeit v. In A aber vergrössert, in B verkleinert seine Bahngeschwindigkeit (in westsüdöstlicher Richtung) seine Geschwindigkeit v beziehlich der Sonne. Also zieht trotz

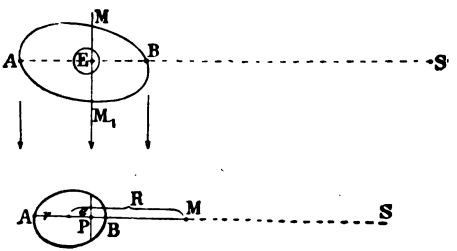


Fig. 14.

des veränderten Sonnenabstandes die Schwungkraft ihn in A stärker von der Sonne weg, in B weniger. Aber jene Verstärkung und Schwächung wird dadurch ziemlich aufgehoben, dass die Erde für die erste Stellung nach der Sonne zu zieht, für die zweite von der Sonne weg. Ueberhaupt reguliert die Erdanziehung jene Bahngeschwindigkeit, indem allemal die Erdanziehung nahezu gleich der durch die Bahn um die Erde bewirkten Schwungkraft des Mondes ist. Also wollen wir nur die Schwungkraft beziehlich der Bewegung um den Hauptkörper, die Sonne, berücksichtigen, ihr Mass ist v^2/r. Das Mass der Sonnenanziehung aber

Digitized by Google

ist M/r^2. Wenn v nach Obigem als gleich betrachtet wird, so ist die stets von der Sonne weg gerichtete Schwungkraft in A kleiner als in der Mittelstellung (weil der Nenner r grösser wird), die Sonnenanziehung daselbst ebenfalls kleiner (da r^2 im Nenner grösser), aber weil im Nenner der Anziehung die zweite Potenz von r vorkommt, so ist die Verminderung der Anziehung verhältnismässig beträchtlicher als die Verminderung der Schwungkraft. Also wiegt letztere vor: der Mond wird sich von der Erde weiter entfernen, als er es ohne die Sonnenwirkung gethan hätte. In B aber wird die hier nach E gerichtete Schwungkraft grösser (da r im Nenner kleiner) die Anziehung nach S ebenfalls grösser, die letztere aber wieder in stärkerem Masse. Also wird hier der Mond nach der Sonne zu aus seiner Bahn ausweichen, sich mithin wieder mehr von der Erde entfernen, als ohne die Sonnenwirkung. Natürlich findet etwas Entsprechendes, doch nicht so Starkes auch in den übrigen Stellen der Mondbahn statt ausser den Stellungen von etwa M und M_1. Die Mondellipse, deren grosse Axe (oder Apsidenlinie) nicht gerade die Lage AB haben muss, ändert sich etwas (Evektion des Mondes).

Bedenken wir ferner, dass der Mond bald oberhalb der Papierfläche, also im Raume nördlich von der Ebene der Ekliptik, bald unterhalb derselben zu denken ist, wobei die Verbindung der Durchschneidung des Papieres, die Knotenlinie, von der Sonne aus gesehen nicht immer genau in derselben Lage erscheinen kann, auch wenn sie sich im Weltenraume, absolut, nicht

Digitized by Google

drehen sollte (Zeichnung herzustellen!), so müssen wir sagen: die Sonne zieht den Mond in einer Richtung Sonne-Mond, die bald nach oben, bald nach unten etwas von der Richtung Sonne-Erde abweicht. Also zieht die Sonne in diesen Fällen mit einer sehr geringen, senkrecht auf der Erdbahnebene stehenden Komponente den Mond nach der Erdebene zu. Zur Zeit der Knotenstellung ist diese Komponente Null, grösser zur Zeit, wo der Mond weiter von der Erdbahnebene entfernt ist (man denke sich die Mondbahn in nahe gleiche, in je einer Sekunde zurückgelegte Strecken zerschnitten, zu diesen Strecken sind verschieden grosse Beschleunigungen nach der Ekliptikebene hin hinzuzudenken). Daraus ergibt sich eine den Mond aus seiner schiefen Bahn im Augenblicke herauslockende Kraft, und es wird der Mond z. B. den aufsteigenden Knoten früher in die Ebene der Ekliptik hineinzeichnen als ohne jene Störung. Auf solchem Wege muss der Knoten allmählich mehr und mehr nach Westen vorrücken und dementsprechend sich die Knotenlinie auch beziehlich des Sternenhimmels drehen (siehe früher). Zugleich treten kleine Aenderungen der Bahnschiefe, Abweichungen aus der jedesmal vorhergehenden Bahnebene ein. Ein höherer Abstand der entferntesten Stellen der Bahn würde aber dadurch nicht bewirkt werden, da die auf der einen Seite erteilten Beschleunigungen gerade so auf der anderen fortgenommen würden (siehe so bei Präcession). Man darf aber auch nicht ganz vergessen, dass infolge der Drehung der Knotenlinie die Stellen der grössten Komponenten anders werden.

Digitized by Google

Da die Umläufe der Planeten verschiedene Zeit beanspruchen, so ändern sich die Stellungen derselben untereinander, es kommen die übrigen Planeten der Erde und dem Mond verschieden nahe. Folglich müssen auch dadurch nach dem Newtonschen Gesetze Veränderungen in der Einwirkung dieser Planeten auf die Erd- und Mondbahn eintreten. Solche Störungen sind nicht allzu beträchtlich, nur mit den genauen Hilfsmitteln der Astronomie zu beobachten, haben aber doch auch schon zur Vorausberechnung der Bahn eines bis dahin noch nie gesehenen Planeten Neptun und zu seiner Entdeckung am (von Leverrier 1846 aus Störungen der Uranusbahn) vorausberechneten Orte (1847 durch Galle in Berlin) geführt. Der berühmte Laplace in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts hat in seiner mécanique céleste (Mechanik des Himmels) gründliche Berechnungen über die meisten Störungen vorgenommen und die sehr zahlreichen Abweichungen unter Zugrundelegung des Newtonschen Gesetzes mathematisch erklärt. Es ändern sich die Bahnen derart, dass die daraus folgenden Bahnen ebenfalls ellipsenähnlich sind, aber die grossen Axen der Ellipsen drehen sich langsam, die Knotenlinien drehen sich, die Schiefen zur Erdbahnebene (auch die Lage der Erdbahnebene) schwanken ein wenig, die Excentricitäten bleiben nicht genau dieselben. Alles das ist wahrnehmbar, aber bewirkt meist nur im Verlaufe grosser Zeiträume Aenderungen, die auffallen können. Man könnte auf den Gedanken kommen, dass durch entsprechendes Zusammenkommen von Planetennähen dauernde Störungen im Gleichgewichte des ganzen Sonnensystems irgend-

Digitized by Google

wann möglich wären. Doch hat schon Laplace gezeigt, dass sich die Störungen immer wieder ausgleichen und man nur von Schwankungen, nicht von dauernder Veränderung sprechen muss.

Sehr bemerkbar für uns sind Störungen, welche durch die eigentümlichen Stellungen von Mond und Sonne in den Erdmeeren regelmässig hervorgerufen werden.

Das Wasser ist beweglich, es ist nicht gezwungen, derart an der Bewegung des Erdmittelpunktes teilzunehmen wie die festen Erdteile. Allerdings hat es nicht eine derartige, nur von Schwungkraft und Anziehung geregelte Freiheit wie der freischwebende Mond. Es unterliegt zwar auch solchen Kräften, aber da die Erdanziehung sehr gross ist, wird es stets gezwungen, sich der Erde anzupassen und erfährt durch Reibung und Festhalten zwischen den Ländermassen eine starke Beschränkung. Gleichwohl vermag es dann, wenn der Mond oder die Sonne in gewissen Entfernungen stehen, die Erdanziehung zum kleinen Teile zu überwinden und sich zu heben oder zu senken, in der bekannten Erscheinung der Flut und Ebbe. Wir vergleichen sie mit der Evektion des Mondes (siehe die untere Hälfte der Figur 14).

Anziehender Körper ist bei der Mondstörung die Sonne, bei der Fluterscheinung entweder die Sonne S oder der Mond M (Sonnenflut und Mondesflut). A und B sind in der oberen Figur Stellungen des gestörten Mondes, in der unteren Meerespunkte, die sich ebenfalls bewegen und zwar für die Sonnenflut um den in der Sonne liegenden Schwerpunkt des Sonnen-

Digitized by Google

systems. Die Flut durch die Sonne ist dann ebenso zu erklären wie die Evektion des Mondes (man betrachte nur A und B als Meerespunkte), es sind aber die störenden Kraftdifferenzen geringer, weil hier A und B einander näher sind. Auch kann die Evektion des Wassers nicht frei ausgeführt werden, weil die starke Erdschwere immer einen Druck auf den Meeresgrund verursacht. Für die Mondflut bewegen sich A und B um den gemeinsamen Schwerpunkt P von Erde und Mond. (Von der täglichen Rotation der Erde um ihre Axe sehen wir auch hier zunächst ab). Der Mond beschreibt eine Ellipse, der Punkt B — und ähnlich A — in einem siderischen Monate nahezu einen Kreis um jenen Schwerpunkt. Es sei R die Entfernung des Mondes (oder der Sonne) vom Mittelpunkte der Erde, r der Erdradius, e die Entfernung von P bis zum Erdmittelpunkt. Dann kann man die Schwungkraft sowohl in A wie in B ausdrücken mittelst der Zeit T eines siderischen Monates und $r + e$ bez. $r - e$. Da letztere Grössen im Zähler stehen $(4\pi^2 (r + e) : T^2)$, so ist die Schwungkraft in A grösser als in B, vermindert also die Erdschwere in A stärker. Es wirkt aber ausserdem die Mondanziehung (bez. Sonnen-) auf das Wasser. Freilich wirkt diese auch auf den Erdmittelpunkt und zwar entsprechend der Entfernung R, und es wird hier diese Anziehung gerade durch die Schwungkraft $4\pi^2 e : T^2$ aufgehoben. Aber da das Wasser nicht fest mit dem Erdmittelpunkte verbunden ist, müssen wir die Unterschiede der Schwungkräfte und Anziehungen in Betracht ziehen. Die Anziehung in A ist umgekehrt proportional

Digitized by Google

$(R+r)^3$, die in B umgekehrt proportional $(R-r)^3$. Sie wirkt in A vermehrend auf g, in B vermindernd. Also ist die Verminderung der Schwere der Erde g in A gleich der Schwungkraft abzüglich der Mondanziehung, in B gleich der anderen Schwungkraftsgrösse zuzüglich der entsprechenden Mondanziehung. In beiden Punkten ist eine Verminderung der Schwere vorhanden, in A wirkt die Schwungkraft besonders vermindernd, die Mondanziehung, die hier entsprechend geringer ist, stört diese Verminderung nicht so sehr; in B wirkt zwar die Schwungkraft nicht gerade sehr vermindernd, dafür aber vermindert hier die Mondanziehung gleichfalls die Erdschwere. Also ist dieselbe Wassermenge in A und B leichter als an zwei anderen etwa um 90° davon entfernten, ebenso weit vom Erdmittelpunkt abstehenden Punkten. An und für sich würde das Wasser weder in A noch in B sich heben, da das Gewicht derselben niemals ganz aufgehoben wird. Aber wenn in einer zusammenhängenden Flüssigkeit an verschiedenen Stellen ein verschiedener Druck herrscht, so wird dieselbe nach der Stelle des geringeren Druckes getrieben, es heben sich die Stellen der leichteren Massen. Eine solche Druckverteilung ist im offenen, grossen Meere möglich. Also strebt das an den übrigen Stellen befindliche Wasser das Meer in A und B in die Höhe zu drängen und selbst zu sinken (Ebbe) und zwar um solche Höhendifferenz h, dass eine so emporgehobene, d. h. vom Erdmittelpunkte um h mehr entfernte Wassermenge ebenso viel wiegen würde wie an den Orten der Ebbe an einer um h über der Wasseroberfläche liegenden

Digitized by Google

Stelle. In der Umgebung von A und B finden entsprechend, aber je weiter ab, um so geringere Verminderungen der Erdanziehung statt. Die sämtlichen Verminderungen hat man in Rechnung zu ziehen, was natürlich viel schwieriger ist als obige Betrachtung für A und B, die für uns zur Erklärung genügen möge. Die Flut und Ebbe wird in Wahrheit nicht mit den Rechnungsgrössen übereinstimmen, weil die Kontinente und der sonstige Reibungswiderstand hindern. Die Verhältnisse sind mithin sehr verschiedenartig und die Fluthöhen nur durch die Erfahrung für jeden einzelnen Ort festzustellen.

Nun beachte man noch, dass die Erde sich dreht, also die Orte A und B entgegengesetzt wie die Erddrehung fortlaufen, indem sie immer dem Monde zu oder ganz abgewendet bleiben; ferner, dass auch die Sonne eine Flut erzeugen muss, die allerdings beträchtlich geringer ist (Uebungen). Endlich, dass nur dann und wann Mond und Sonne ziemlich in derselben Richtung stehen (Springfluten!), endlich auch, dass die Entfernung jener Gestirne nicht stets dieselbe ist. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Landverteilung auf der Erde die verschiedenen thatsächlichen Fluterscheinungen der Erde.

Uebungen 23.

1. Wie ist es erklärbar, dass die Excentricität einer Ellipse sich ändert? (Bei der Erdbahn ist die Excentricität a. 1900 etwa 0,01675 und nimmt in 100 Jahren um 0,0000424 ab.) Man denke sich, es wirke ein dritter Körper gerade dann besonders stark ein, wenn der zweite

Digitized by Google

die Bahn beschreibende am Ende der grossen Axe (in der Apsidenlinie) steht. 2. Wieso vermag ein dritter Körper, wenn er regelmässig genug wirkt — oder dazu ein vierter etc. — die Richtung der grossen Axe einer Ellipsenbahn zu verändern? (bei der Erde Umdrehung nach O um jährlich über 11″). 3. Wie mag es kommen, dass andere Planeten der Erde bald näher kommen, bald sich von ihr entfernen? Welchen Einfluss müssen sie etwa auf die Erdbahn ausüben? 4. Angenommen, es kämen einmal in die Nähe der Erde mehrere aufsteigende Knoten von Planetenbahnen (die Bahnen der Planeten weichen von der Ekliptikebene in verschiedener Weise, wenn auch nicht stark ab), wieso wird dadurch eine besonders beträchtliche Verrückung der Erdbahn hervorgebracht, die in Aenderung der Axenrichtung der Ellipse und anderem (Schiefe) bestehen kann? Wenn aber nach jahrhundertelanger Zeit entsprechend viele Knoten sich gerade 180° davon entfernt zusammenfänden, wieso würde eine Ausgleichung für die Aenderung der Erdbahn stattfinden? (Die Schiefe der Ekliptik nimmt seit Jahrtausenden ab um durchschnittlich kaum 1″ jährlich; niemals geht die Abnahme über 1,5° hinaus.) 5. Wieso müsste, falls der Mond nicht um die Erde herumliefe, die Mondflut an demselben Orte sich nach 12 Stunden wiederholen? Warum aber folgt auf die Flut in Wahrheit die Ebbe erst nach etwa 6 und $^1/_4$ Stunden? Warum tritt eine Flut am folgenden Tage ungefähr zur selben Tageszeit, aber um etwa 50^m verzögert, ein? 6. Wieso verzögert sich die Flut oft um sehr viel (in Hamburg um 5 Stunden, in Ostende um 20^m gegenüber der nach Rotation

Digitized by Google

und Mondlauf ausgerechneten Zeit? 7. Inwiefern hängen die Fluten mit dem synodischen Monate zusammen? Inwiefern ihre mathematische Erklärung mit dem siderischen? 8. Wie kommt es, dass die Flut in St. Malo in Frankreich bis 16 m, in der Ostsee nur 10 cm, im Mittelmeere 33 cm, höchstens aber überhaupt nur bis gegen 20 m beträgt, wieso stets an den Küsten mehr als in offener See? 9. Wie kommt es, dass man die Wirkung der Flut in manchen Flüssen noch weit aufwärts verspüren kann, in der Elbe bis 150 km aufwärts, im Amazonenstrom bis über 1000 km? 10. Wieso kann die Sonnenflut, die an sich kaum bemerklich ist, die Mondflut zur Springflut erhöhen oder — wann — zur Nippflut erniedrigen? [11. Wieviel mal so viel Masse hat die Sonne als der Mond, aber wieso ist die Sonnenflutwirkung doch nur ein Bruchteil der Mondflutwirkung? 12. In welchem Verhältnis steht die Grösse des Schwungkraftmasses in A und B? In welchem Verhältnis die Mondanziehungen in A und B? 13. Berechne die Verminderung der Erdschwere g in A und B. Wieso ergeben sich nur kleine Bruchteile von mm? 14. Wieso ist die Zenitflut stärker als die Nadirflut? 15. Wieso könnte man (ohne allzugrosse Fehler) auch von der Schwungkraft schweigen, falls man annimmt, dass der Mittelpunkt der Erde durch Anziehung ebenfalls nach dem Monde zuwiche und berechnet, wieviel weniger bezw. mehr die Punkte V und B nach ihm hinwichen? In Wahrheit weicht der Mittelpunkt wegen der Fliehkraft nicht nach dem störenden Körper hin, könnte es nur im Anfange thun, falls der störende Körper (Mond bezw. Sonne) plötzlich

Digitized by Google

da wäre und die bis dahin geradlinige Bewegung der Erde hinderte. 16. Warum wird die Flut über den 65. Breitengrad nicht mehr merklich sein? 17. Was hat die Richtung der Apsidenlinien des Mondes und der Erde mit der Fluthöhe zu thun? 18. Warum ist die Zeit der Aequinoktion günstig für die Fluthöhe (Stellung von Sonne und Mond, alsdann Abnahme der Erdschwere im Aequator durch Rotationsschwungkraft!)? 19. Es sei g das zur Erscheinung tretende Mass der Erdkraft in der Höhe h über der mittleren Höhe r der Erdoberfläche in der Breite φ, während $g\varphi$ die Erdanziehung genau in jenem Abstande r (Erdradius daselbst) misst. Wieso ist dann $g = g\varphi \cdot r^2/(r+h)^2$ oder nach Ausführung der Division und Fortlassung der immer kleiner werdenden Glieder nahezu $= g\varphi(1-2.\frac{h}{r})$? Wie gross ist dann für den Aequator die Verminderung des Masses der Anziehung bei einer Erhebung um 6 m? (wenige hundertstel mm). Und für welche Höhe betrüge sie 0,05 mm?)

24. Die Präcession der Tag- und Nachtgleichen.

Wir wissen, dass durch starke Vermehrung der Umdrehungsgeschwindigkeit die Gegenstände am Aequator gewichtlos wie ein Mond werden könnten, dass durch die Schwungkraft am Aequator die Schwere daselbst vermindert wird und dass die Verdickung der Aequatorgegend, die Erdabplattung damit zusammenhängt. Wenn nun auch die gewissermassen auf die Aequatorgegend zur Herstellung der Verdickung aufgelegten Massenteile (d. h. diejenigen Massen, welche ausserhalb einer durch die Pole gelegten genauen Kugel-

Digitized by Google

fläche liegen) fest aufliegen und nicht mondartig schweben, so vollführen sie doch bei der täglichen Rotation eine Bahn, nämlich jedes Teilchen beschreibt einen Kreis, und diese Bahnen liegen schief zur Ebene der Ekliptik. Jede Aequatormasse durchschneidet mithin in einem Tage zweimal jene Ebene und wird von einem störenden Körper wie der Sonne angezogen. Sie kann aber keine Evektion ausführen, weil (vom Wasser abgesehen) diese Masse fest mit der Erde verbunden ist. Da die Bahn aber schief liegt, so zieht in jedem Augenblicke die zur Ebene der Ekliptik senkrecht liegende kleine Komponente zu dieser Ebene hin und es strebt darum jede solche Masse einen früheren Eintritt in den Knoten zu erreichen. Gäbe es nur eine solche Masse, gleichsam ein irgendwo im Aequator angeklebter Mond, so würde dieser Zug nicht regelmässig sein, weil dieser Mond bald ferner, bald näher dem Störer, bald in der Knotengegend, bald nicht wäre. Die ganze Aequatorgegend ist aber bedeckt mit solchen Massen, also befinden sich immer einige in grösster Entfernung von der Ekliptikebene, und zwar immer gleich viele. Darum werden alle diese Massen das Bestreben haben, in gleichmässiger Weise ihre Knoten nach W zu früher eintreten zu lassen, d. h. zwar nicht die Schiefe zu ändern, aber wohl die Aequatorebene nach Art eines sinkenden, gedrehten Tellers herumzudrehen.

Nun sind jene Massen fest mit der übrigen Erde verbunden. Sie müssen also, um das Bestreben ausführen zu können, die weit grössere Masse der ganzen Erde mit sich zu jener Kreiselbewegung fortziehen. Dieselbe wird also nur langsam vor sich gehen.

Digitized by Google

Man kann auch die Gesamtwirkung folgendermassen betrachten. Man teile die Erde durch eine zur Ekliptik senkrecht stehende Ebene, sodass auf der einen Hälfte der Aequator empor-, auf der anderen unter die Erdbahnebene hinuntersteigt. Die auf der oberen Hälfte der genauen Kugel aufliegenden Massen werden in ihrem Schwerpunkte abwärts, die anderen aufwärts gezogen. Zwei solche auf entgegengesetzter Seite entgegengerichtete Kräfte suchen die Aequatorebene zu drehen und in die Erdbahnebene hinein zu ziehen. Man kann dies nachahmen durch folgenden Apparat (genaue Beschreibung siehe: K. Geissler, Zeitschrift f. d. physik. und chem. Unterricht, Heft Sept. 1896. J. Springer, Berlin).

Zwei gleiche Metallröhren (oder Holzstäbe) sind in der Mitte unter rechtem Winkel aufeinander gelegt in die Horizontalebene; an der Befestigungsstelle ist senkrecht nach unten eine leichte Holzaxe eingesteckt (die Erdaxe). Oberhalb der Befestigungsstelle, also des Schwerpunktes (oder etwas seitlich) ist das Ganze an einem Faden aufgehängt. Bringt man es aus der bisherigen Lage (um etwa 23,5°), sodass die Axe zur Vertikalen schief steht, so liegt der Aufhängepunkt nicht genau über dem Schwerpunkte, und es zieht der Faden vertikal aufwärts nicht in derselben geraden Linie, wie die Schwere vertikal abwärts. Dies Kräftepaar sucht das ganze „Schwingungskreuz“ wieder in seine erste Lage zu ziehen, was man sofort sieht, wenn man es loslässt und frei hängen lässt. Setzt man aber das Ganze mit den Händen in eine Drehung um die Holzaxe, während es schief gelegt ist, und lässt los, so bleibt

Digitized by Google

es in seiner schiefen Lage, aber die Ebene der Röhren wendet sich langsam herum, die Axe beschreibt einen Kegelmantel um die Vertikale, also um die Richtung jener zwei Kräfte; die Spitze der Axe beschreibt einen Kreis um einen Punkt der Vertikalen. Man kann auch den langen Faden oben an einem Gestell (Decke) befestigen und das Ganze zugleich in einer grossen Ellipse durch die Stube schweben lassen. Dann stellt diese hier horizontale Bahn die Erdbahn vor, die Vertikale ist die Axe der Ekliptik; also beschreibt thatsächlich die Erdaxe einen Kegelmantel um jene Axe. Jenes Kräftepaar entspricht den zur Erdbahn senkrechten Komponenten der Anziehung durch störende Körper auf die aufgelegten Aequatormassen. Also störender Körper ist bei dem Modell die Erde, bei der Erde in der Natur die Sonne und der Mond. Nur durch die schiefe Stellung wird die Drehung der Erdaxe und Aequatorebene hervorgebracht. Da die Aequatorebene am Himmel als Himmelsäquator erscheint und die Erdbahn als Ekliptik, und der Himmel sehr fern zu denken ist, so kann man den gemeinsamen Mittelpunkt der beiden Ebenen im Auge denken oder im Erdmittelpunkt. Der Knoten erscheint danach an den Himmel projiziert als Frühlingspunkt bezw. Herbstpunkt.

Schluss. Es müsste F am Himmel auf der Ekliptik nach Westen zu fortrücken (wenn wir die scheinbare tägliche Drehung der Sterne als vorwärts gehend bezeichnen, ist diese Verrückung ein Vorrücken: Präcession). Da der Mond nicht in der Ekliptik herumläuft, so müssen wir unterscheiden zwischen derjenigen Axenschwankung, welche er, und der, welche

Digitized by Google

die Sonne hervorbringen muss. Erstere möge heissen die Abplattungsschwankung durch Mondanziehung, letztere die Abplattungsschwankung durch Sonnenanziehung. Wir werden bei beiden von solchen Kraftkomponenten sprechen können, senkrecht zur Erdbahnebene, welche zusammen eine Kegelschwankung um die Axe der Ekliptik hervorbringen. Diese von beiden Körpern gelieferten Komponenten mögen die „Abplattungsschwankung durch Erdbahnkomponenten" bewirken. Da die Mondbahn geneigt ist, so sind auch noch Komponenten da, geliefert vom Monde beziehlich (senkrecht zu) der Mondbahnebene, diese müssten eine (freilich viel geringere) „Abplattungsschwankung der Erdaxe durch Mondbahnkomponenten" hervorbringen. Letztere Schwankung beschriebe einen Kegelmantel um die Axe der Mondbahn. Man versetze sich in einen Endpunkt der Erdaxe am Himmel und ziehe von da eine Bogenlinie bis zum Pol der Ekliptik, also 23,5°; alsdann kann die Mondbahn so gerichtet sein, dass die darauf (durch den Brennpunkt der Mondellipse) senkrecht gelegte Axe noch über jenen Bogen hinaus liegt, oder aber zu anderer Zeit — nämlich nach einer halben Periode der Umdrehung der Mondknotenlinie, also etwa $9^1/_2$ Jahren — kann man auch schon früher auf das Ende der Mondbahnaxe stossen, ehe man zum Ekliptikpole gelangt.

Schluss. Der Endpunkt der Erdaxe muss erstens infolge der Abplattungsschwankung durch Erdbahnkomponenten im Abstande von 23,5° vom Ekliptikpole langsam einen Kreis nach W herum beschreiben, zweitens aber infolge der Abplattungsschwankung durch

Digitized by Google

Mondbahnkomponenten einen kreisähnlichen Lauf mit grösserem oder (nach $9^1/_3$ Jahren) kleinerem Radius (flacher oder stärker gekrümmt). Es müsste das Ende der Axe also in jenem Kreise nach W voreilend bald etwas nach aussen aus demselben ausweichen, bald nach innen; aber da nach einem und dreiviertel des Umlaufs der Mondknotenlinie und zu allen andern Zeiten die Mondbahnaxe noch andere Stellungen einnimmt, so müsste ausserdem in Richtung jener Kreisbewegung eine Beschleunigung oder Verzögerung eintreten.

Thatsache. Der Frühlingspunkt rückt nach jahrtausendelanger Beobachtung wirklich auf der Ekliptik nach W zu weiter, es ist wirklich die Zeit, welche vergeht, bis die Sonne zum nächsten Male wieder ostwärts herum nach F kommt, etwas kürzer als das siderische Jahr ($365^d\ 6^h\ 9^m\ 9{,}35^s$), nämlich nur $365^d\ 5^h\ 48^m$ und (im Jahre 1900) $45{,}8^s$. solches Jahr heisst das tropische (griechisch vom Verbum: wenden, da es mit dem Wendepunkt der Sonne oder mit F zusammenhängt). In einem Jahre von $365^1/_4$ mittleren Sonnentagen (dem „Julianischen Jahre, siehe bei Kalender!) beträgt das Vorrücken auf der Ekliptik etwa 50,24″. Dies sind aber nur mittlere Werte: thatsächlich ist die Präcession bald etwas schneller, bald etwas langsamer und zwar entsprechend jener durch den Mond bewirkten Periode.

Schluss. Wir dürfen uns vorstellen, dass das Ende der Erdaxe um jährlich etwa 50″ auf jenem um 23,5° vom Ekliptikpole entfernten Kreise nach W zu rückt, zugleich aber auch wellenartig nach aussen und innen (Nutation, Wanken). Während der ganze Kreis in 25800 Jahren beschrieben wird, erfordert eine

Digitized by Google

Welle nur $218^d\ 21^h$. Sehen wir von jener grossen Präcession ab, so können wir uns die Nutation vorstellen als kreisähnliche Bahn, beschrieben um die mittlere Stellung der Axe auf jenem Präcessionskegel. Der wahre Kegel hat also eine fein gewellte Oberfläche, deren Wellenberglinien von der Spitze, dem Erdmittelpunkte ausgehen.

(Bradley, der durch Beobachtungen die Nutation festgestellt, nach dem schon andere, wie Römer, sie vermutet, hielt sie noch für kreisförmig, in Wahrheit werden Ellipsen mit den Axen 19″ und 16″ beschrieben. Man denke an die verschiedenartigen Stellungen der Mondbahnaxe!)

Die Ekliptik verläuft durch eine Anzahl von Sternbildern, vor zwei- bis dreitausend Jahren stand die Sonne zur Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche im Sternbild des Widders und durchlief im Verlaufe eines Jahres die folgenden Sternbilder des Tierkreises (meistens Tiernamen):

Widder ist es und Stier, dann Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau,

(lat.: Sunt aries, taurus, gemini, cancer, leo, virgo)

Wage, Skorpion und Schütze, bis Steinbock, Wassermann, Fische

(Libraque, scorpeus, arcitenens, caper, amphora, pisces).

Seitdem ist F infolge der Präcession um etwa 30° nach W gerückt und steht im Sternbild der Fische. Dennoch sagt man noch immer, sie stehe zwar nicht im Sternbild, aber im Zeichen des Widders. Also auch heute noch teilt man die Ekliptik in 12 gleiche Teile von je 30° vom jedesmaligen F ab ein und benennt diese

Digitized by Google

Stücke mit Widder anfangend mit jenen Namen als blossen Zeichen des Tierkreises. Danach passt also die Bezeichnung Wendekreis des Krebses noch, obgleich die Sonne am 21. Juni vor den Zwillingen (Sternbild) steht.

Dem tropischen Jahre entspricht der tropische Monat, derselbe wird also gerechnet, bis der Mond zum nächsten Male wieder durch die Kolur des Frühlingspunktes geht, er beträgt $27^d\ 7^h\ 43^m\ 4{,}7^s$.

Uebungen 24.

1. Man nenne die verschiedenen Arten von Jahren und Monaten. 2. Wieso wird der jetzige Polarstern (α des kleinen Bären) nicht immer Polarstern, d. h. der dem Weltpol am nächsten stehende grössere Stern sein? Wieso stand derselbe vor etwa 2000 Jahren etwa 12° vom Pole entfernt? Wieso wird sich der Pol dem jetzigen Polarstern im Jahre 2100 am meisten genähert haben und dann wieder von ihm entfernen? Man verfolge auf einer Sternkarte den weiteren Verlauf durch Cepheus, Schwan, Leyer (in 12000 Jahren beim Stern Wega), Drachen und kleinen Bären. 3. Wieso kann der Mond (und die Planeten) bewirken, dass die Schiefe der Ekliptik in ungeheuren Zeiträumen hin und her schwankt, wieso rückt dadurch F nicht genau gleich schnell fort? Wie ist es möglich, dass die Dauer des tropischen Jahres in jedem Jahrhundert um einen Sekundenbruchteil abnimmt, später aber auch einmal wieder zunehmen wird, sodass etwa im Jahre 3000 vor Christi Geburt das Jahr die grösste Länge ($365^d\ 5^d\ 49^m\ 25^s$) hatte und im Jahre 7600 am kürzesten sein wird ($365^d\ 5^h\ 48^m\ 9^s$)? 4. Wieso ändert sich infolge der Präcession die Rektas-

Digitized by Google

cension und die Sternlänge der Sterne fortwährend und in welchem Sinne? 5. Warum schwankt die Schiefe der Mondbahn gegen die Ekliptik (um nahezu 9′) hin und her, und zwar innerhalb einer Periode, die gleich einem halben synodischen Monate ist? 6. In welchen Zeichen und in welchen Sternbildern steht die Sonne bei Sommers- und Wintersanfang? 7. Was bedeutet das Zeichen: Punkt Null des Widders? 8. Wie mag es kommen, dass die Sonnennähe der Erde (Perihel) sich ändert? (Die Erde gelangt nach je 58 Jahren etwa um einen Grad später in das Perihel.) Wieso wird die Erde im Jahre 6500 am 21. März im Perihel sein und war vor 600 Jahren etwa bei Wintersanfang im Perihel? 9. Warum ist in Australien zur Zeit des dortigen Sommers die Erhitzung grösser als in unserem Sommer bei gleich hohem Sonnenstande? 10. Die sommerliche Zeit zwischen den Aequinoktien ist bei uns grösser als für die südliche Halbkugel. Wieso wird dadurch ein Ausgleich für die stärkere Bestrahlung auf der südlichen Halbkugel zur Januarzeit beziehlich der mittleren Temperatur gegeben? 11. Da vor 11000 Jahren Sommer mit dem Perihel zusammen fiel und die Schiefe der Ekliptik gegen 25° betrug, welche Einwirkung musste das auf unser Klima im allgemeinen haben? 12. Wenn die Ekliptik die scheinbare Bahn des Sonnenmittelpunktes, beobachtet vom gemeinsamen Schwerpunkte der Erde mit Mond ist, wieso muss dann der Sonnenmittelpunkt von der Richtung des Erdmittelpunktes aus gesehen nicht immer genau in die Ekliptik fallen? Wieso könnte man aus solchen Beobachtungen einen Schluss auf die Masse des Mondes machen? Wieso

Digitized by Google

könnte man die Mondmasse mit der Sonnenmasse durch die Thatsachen der Flut (allerdings mit grossen Schwierigkeiten) vergleichen, oder auf die Mondmasse durch Pendelversuche schliessen?

25. Der Kalender.

Unser Leben richtet sich nach der Sonne, zunächst durch die Jahreszeiten, darum rechnet man im gewöhnlichen (bürgerlichen) Leben nach tropischen Sonnenjahren. Für jedes derselben muss irgend ein Anfang festgestellt werden. Während die Römer früher mit dem Frühling begannen (Anfang des Monates März), wurde unter Cäsars Regierung durch einen Astronomen (mit Beziehung auf damaligen Mondstand) ein Tag gewählt mit nach Tagen bestimmtem Abstande von der Wintersonnenwende, der auch jetzt noch so festgehaltene erste Januar. Es fragt sich, in welchem Augenblicke aber dieser Tag beginnen soll. Im bürgerlichen Leben fängt man mit der unteren Kulmination der mittleren Sonne an und nennt dies Null Uhr (oder 12 Uhr) nachts, dann zählt man 12 und wieder 12 Stunden an demselben Tage. Die Astronomen beginnen ihren Sonnentag erst Null Uhr mittags und zählen 24 Stunden. Nun haben aber nicht alle Orte der Erde zugleich Sonnenkulmination. Also muss man unterscheiden zwischen Ortsjahresanfang und absolutem Jahresanfang (für die ganze Erde). Letzterer findet mit der Kulmination der Sonne an einem gewählten Meridian der Erde statt. An diesem fällt der letzte Augenblick des alten Jahres mit dem ersten des neuen derart zusammen, dass man beim Reisen nach Osten hin in

Digitized by Google

Orte mit dem letzten Tage des vorigen Jahres eintritt, während nach Westen zu alles soweit im neuen Jahre sich befindet wie die Sonne schon kulminiert hat. Der Datumswechsel ist für nahe bei einander wohnende Menschen in der Gegend solchen Meridianes unangenehm, darum wählte man einen möglichst wenig durch Land gehenden, nämlich den die Behringsstrasse und den grossen Ozean durchschneidenden, der nur wenige Inseln trifft (Samoa- oder Schifferinseln etc.). Reist man um die ganze Erde nach O zu ohne Datumverbesserung, so kommt man an den Ausgangspunkt zurück und hat dabei selbst ein Datum, das um einen Tag vor dem inzwischen eingetretenen Datum des Ausgangsortes vorausgeht; bei umgekehrter Reiserichtung bleibt man um einen Tag zurück. Die Seefahrer pflegen in der Nähe jenes Jahresanfangsmeridianes und zwar beim Ueberschreiten des 180. Längengrades das Datum zu verbessern, indem sie beim Reisen ostwärts daselbst die Nummer des Tages um eins rückwärts verändern, also dasselbe Datum zweimal begehen, bei entgegengesetzter Richtung einen Tag überspringen. Nach dieser Festsetzung müsste das Jahr überall mit einem zu Ende gehenden Tage schliessen. Nun besteht aber das tropische Jahr nicht aus einer ganzen Anzahl von mittleren Sonnentagen, darum wählt man die Länge des bürgerlichen Jahres teils zu kurz mit 365, teils zu lang mit 366 Tagen, lässt das absolute Jahr demnach nicht immer ganz genau mit dem Anlangen der Sonne in F anfangen. Julius Cäsar liess die bis dahin durch ungenaue Berechnung herrschende Verwirrung dadurch ändern, dass er das (Julianische) Jahr im Allgemeinen

Digitized by Google

in der Länge von 265 uud $^1/_4$ Tagen annahm und nun auf drei Kalenderjahre von 365 Tagen ein Schaltjahr von 366 Tagen folgen liess; man wählt zur Einschaltung noch heute einen dem am kürzesten gewählten Monat Februar zugefügten Tag (den sogenannten 29.), und zwar in den Jahren, deren Zahl durch 4 teilbar ist. Also jedesmal nach einem Schaltjahr kommt die Sonne bei Jahresanfang recht genau wieder in den Frühlingspunkt. Die Russen rechnen noch heute nach diesem Julianischen Kalender. Aber jene Annahme des Julianischen Jahres stimmte auch nicht genau. So kommt es, dass die Russen ihren ersten Januar an unserem 13. Januar feiern. Jenes Jahr war um etwa 11 (genau wieviel?) Minuten zu lang. Gregor XIII. liess zur Verbesserung des inzwischen eingetretenen Fehlers nach dem 4. Oktober 1582 sogleich den 15. schreiben. Ferner sollen nach diesem Gregorianischen Kalender alle vier Jahrhunderte drei Schalttage ausfallen, wodurch der Kalender erst nach mehreren Jahrtausenden einen Fehler von einem Tage aufweist, den man alsdann leicht wird verbessern können (unsere Genauigkeit reicht nicht weit genug, um jetzt schon dafür die Verbesserung festzustellen). Von den Jahreszahlen, die mit zwei Nullen schliessen, sollen nur diejenigen Schaltjahre sein, die durch 4 teilbar sind, die anderen je drei aber gemeine Jahre. Das Jahr 1900 hat also keinen 29. Februar.

Weil es nicht recht praktisch ist Tagesnummern bis 365 zu zählen, teilt man das Jahr weiter ein. Das Natürlichste wäre den Mondlauf zu wählen. In der That haben manche Völker (Griechen in den älteren

Digitized by Google

Zeiten, Juden, Türken) Mondjahre, indem sie sich wenig um die Sonne kümmern. Das ist ungünstig, da nach Annahme eines Jahres mit 12 synodischen Monaten die festen Punkte der Sonnenbahn in immer andere Jahreszeiten fallen: kein einziger astronomischer Monat geht in das Sonnen- oder Sternjahr auf. Die heutigen Kalendermonate haben nur so ungefähr Monatslänge, der Mond zeigt seine Phasen an verschiedenen Monatsdaten. Man wählte Monate mit 31, 30 und einen mit 28 bez. 29 mittleren Sonnentagen. Die bekannten römischen Namen rühren von römischen Götternamen her, ausser dem April (Blütenmonat) und Juli (nach Julius Cäsar), August (nach Augustus), September bis Dezember (römische Zahlen von 7 bis 10). Die Götter waren: Janus (mit zwei Angesichtern, Januar), Februus, Mars, Maja, Juno (Junius).

Nur eines der beweglichen Feste des Kirchenjahres Pfingsten, Himmelfahrt, Karfreitag, Fastnacht, Fronleichnam etc.), nämlich Ostern richtet sich nach dem Monde, wodurch es verschieden fällt. Es ist noch giltig der Beschluss der Kirchenversammlung zu Nicäa a. 325 n. Chr., wonach Ostern stets am ersten Sonntage nach dem ersten Frühlingsvollmonde gefeiert werden soll. Dies ist möglich zwischen dem 22. März und dem 25. April (Ostergrenzen). 1899 fällt es auf den 2., 1900 auf den 15. April.

Die Wochenteilung sollte sich wohl ursprünglich auch nach dem Monde und seinen 4 Phasen richten. Natürlich stimmt das nicht genau. Man zählt die Woche einfach zu sieben mittleren Sonnentagen und pflegt den siebenten Tag als bürgerlichen Ruhetag zu benutzen.

Digitized by Google

Die alten Aegypter dachten sich jede Stunde regiert durch ein Gestirn, begannen mit Sonnabend und liessen die 25., also die erste Stunde des nächsten Tages durch die Sonne regiert sein (Sonntag). Auf die erste Stunde des folgenden Tages fiel dann der Mond (Montag); es folgt der Marstag (der germanische Kreisgott Ziu wurde später an die Stelle des römischen gesetzt: Ziustag, Dienstag), Merkur entspricht Mittwoch, Donar (Jupiter) Donnerstag, Freia (Venus) Freitag.

Uebungen 25.

1. Wieso hat das siderische Jahr, gerechnet mit 366 Volltagen, einen Sterntag mehr als mittlere Sonnentage? 2. Wieso fällt der Jahresanfang der Erde nicht stets genau in den Augenblick, in dem die Sonne dieselbe Länge hat (Schaltjahre!)? Wie erreicht man die Ausgleichung der Fehler? 3. Wieso kann man erst recht nicht für jeden beliebigen Ort der Erde behaupten, dass die Sonne beim Ortsjahresanfang eine ganz genau feststehende Stellung am Himmel habe? 4. Man sage an einem Beispiele (Ort und Jahreszahl) möglichst genau, wo die Sonne in der ersten Minute des Jahres steht. 5. Wieso kann ein Ereignis richtig für astronomische Bücher dem Datum nach am vorhergehenden Tage angegeben sein als für die bürgerliche Rechnung? 6. Zwei Freunde reisen mit Abreisskalendern vom selben Orte der Erde ab, der eine nach O, der andere nach W, sie sollen sich nach Zurücklegung des halben Erdparallelkreises wieder sehen und dann wieder nach Vollendung der ganzen Erdumreisung — wie steht es mit ihren Abreisskalendern bei jedem Wiedersehen?

Digitized by Google

26. Entstehung und Zukunft der Erde.

Auf eine um viele Jahrtausende oder gar Millionen von Jahren zurückliegende Vergangenheit und auf die Zukunft können wir nur von unserer Erfahrung aus schliessen. Entstand die Erde einmal? Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass kein Stoffteilchen plötzlich in der räumlichen Welt auftritt, ohne vorher in irgend einer Weise sein Dasein bethätigt zu haben. Vom Stoffe freilich lernen wir nichts kennen als eine gewisse Summe sich durch Kraftwirkungen äussernde Eigenschaften, z. B. schlossen wir auf die Masse durch die Anziehungskraft. Jene Erfahrung sprechen wir also gleichzeitig mit aus durch das folgende Gesetz.

Thatsache der Erfahrung. Soweit bis jetzt alle unsere Erfahrung, Beobachtung und unsere Versuche reichen, geht keine messbare Kraft verloren, es entsteht auch keine aus nichts, sondern es finden nur Umsetzungen in der Erscheinungsform der Kräfte statt. Wir haben früher gesehen, dass mechanische Aenderungen im Systeme der Sonne sich wieder ausgleichen. Nur das Eintreten von Kometen, von anderen Systemen her könnte Aenderungen herbeiführen. Indessen vermögen, wie es scheint, Kometen nicht allzu beträchtliche Wirkungen hervorzubringen, ein Zusammenstoss mit der Erde z. B. bringt, selbst wenn der dichteste Teil des Kometen, der Kopf, wie es schon geschah und im November 1899 geschehen wird, auf die Erde stösst, nur einen vermehrten Sternschnuppenfall hervor. Sollte ein anderes System eine Bewegung gerade auf das Sonnensystem zu haben, so würde ein Zusammenstoss von Körpern doch noch sehr unwahrscheinlich sein. Aller-

Digitized by Google

dings würden Veränderungen in den Bewegungen, in der Schwerpunktslage u. s. w. eintreten. Die nächsten Fixsterne stehen aber viele Billionen Meilen entfernt und verändern ihre Stellung nicht derartig schnell, dass ein wirksames Näherkommen abzusehen ist. Was würde indessen beim Zusammenstoss von Himmelskörpern erfolgen? Darüber können uns nur Erfahrungen Aufschluss geben.

Thatsache. Beim Zusammenstoss schnell bewegter Körper, wie beim Herabfallen von Meteorsteinen auf die Erde und schon bei ihrem Eintreten in die Luft, entsteht starke Erhitzung. Fliegen zwei Massen nicht central zusammen, so treten auch Rotationen oder Veränderungen bisheriger Rotation ein (Billardkugeln).

Schluss. Durch Zusammenstoss mit sehr beträchtlichen fremden Massen könnte die Rotationsaxe eines Himmelskörpers eine andere Richtung bekommen.

Thatsache. Man hat auch Kometen beobachtet (Encke'scher Komet), die ihre Bahnen um die Sonne immer mehr verengen.

Schluss. Es stürzen wahrscheinlich oft Massen in die Sonne, deren Geschwindigkeit sich langsam verringerte und die darum der Anziehungskraft folgen mussten. Dadurch muss die Hitze der Sonne Vermehrung erfahren.

Andererseits strahlt jeder heisse Körper Wärme aus, besonders die Sonne, deren Ausstrahlungswärme, oder ein winziger Bruchteil derselben unsere Existenz möglich macht (der Weltraum ist ungemein kalt, im Erdinnern wird es zunächst kälter, dann beim Tiefersteigen langsam wärmer).

Digitized by Google

Schluss. Die Sonne wie jeder Himmelskörper muss durch Ausstrahlung ungemein viel Wärme verlieren, die in den Weltenraum forteilt, teilweise an andere Körper abgegeben wird, grossenteils aber sich — wir wissen nicht wohin — in das Unendliche verliert. Die hineinfallenden Massen können jenen Verlust nicht hinreichend ersetzen. Wird also die Sonne einmal erkalten?

Erfahrung. Alle erkaltenden Körper (die noch gasförmig, flüssig und überhaupt wenig dicht sind wie die Sonne) ziehen sich beträchtlich zusammen. Die Ursache hierfür muss für die Sonne die Massenanziehung liefern. Die Anziehungsgrössen setzen sich dabei wieder in Wärme um.

Schluss. Der Wärmeverlust der Sonne wird noch auf Millionen von Jahren hinaus ausreichend durch die Anziehungskraft ersetzt werden, so dass bis dahin eine wesentliche Wärmeverminderung auf der Erdoberfläche nicht zu erwarten ist. Schliesslich aber wird allerdings einmal Erkaltung eintreten, was um so wahrscheinlicher ist, als man halberloschene und ganz erloschene andere Sonnen (Sterne, z. B. durch ihre Anziehungswirkungen) kennen gelernt hat.

Wesentlich würden sich unsere Existenzbedingungen ändern, wenn der Tag und die Nacht eine beträchtlich andere Länge erhielten. Thatsächlich sind beide für andere Planeten und Trabanten, z. B. den Erdmond beträchtlich anders. Unsere irdischen Erfahrungen sagen uns, dass jeder Körper sogar recht rasch seine Geschwindigkeit, auch beziehlich der Drehung durch Reibung ändert. Die Gestirne und die Erde scheinen

Digitized by Google

allerdings dies in den Jahrtausenden unserer Astronomie kaum merklich gethan zu haben. Dennoch müssen wir ein ganz allmähliches Langsamerwerden der Rotation und der Vorwärtsbewegung auf der Bahn annehmen, namentlich der ersteren. Wie wir früher einsahen, muss Ebbe und Flut verlangsamend wirken. Zu einer Zeit, wo die Himmelskörper etwa überhaupt flüssig waren, musste diese Erscheinung gewaltiger und wirksamer gewesen sein und konnte unter Umständen die Rotation so weit verzögern, dass die Flutbewegung nicht mehr möglich war.

Schluss. Sollte unser Mond einmal flüssig gewesen sein, so wäre durch die grosse Wirkung der Erde eine Mondflut nötig gewesen, die wohl allmählich bewirkt haben kann, dass schliesslich der Mond uns nur noch dieselbe Seite zudrehte. Ebenso wäre zu erklären, dass die der Sonne nächsten Planeten (jedenfalls der Merkur) der Sonne stets dieselbe Seite zukehrt. Ein Körper, welchen andere Stoffe umgeben, würde seine Geschwindigkeit durch Reibung ändern müssen. Die Planeten thun dies aber in nicht merklicher Weise.

Folgerung. Der Stoff, welcher als Träger des Lichtes den Weltenraum erfüllt, muss ausserordentlich fein sein und Massen wenig Widerstand bieten.

Sehr auffällig ist es, dass die Massen der Himmelskörper, wie die Spektralanalyse beweist, viele chemischen Stoffe übereinstimmend enthalten, dass insbesondere auf der Sonne und den Körpern ihres Systems (Untersuchung von Meteormassen!) sich dieselben Stoffe befinden wie auf der Erde (namentlich Wasserstoff, Sauerstoff). Ferner weichen die Ebenen der Bahnen der

Digitized by Google

allermeisten grösseren Planeten nur um wenige Grade von einander ab, die Umläufe sind alle gleichgerichtet und auch die Rotationen erfolgen alle von W über S nach O. Selbst die Trabanten (mit Ausnahme der Monde des Uranus, die beinahe rechtwinklig zur Bahn der meisten Planeten kreisen) fügen sich der Regel ein. Sternschnuppenschwärme und Kometen weichen allerdings sehr unregelmässig ab. Der deutsche Forscher und Philosoph Immanuel Kant und der französische Mathematiker, Laplace (kurze Zeit später) haben aus dem Gesagten und anderen Thatsachen eine Hypothese über die sogenannte Entstehung des Planetensystems gefolgert.

Folgerung. Sonne und Planeten bildeten einmal einen grossen Nebel (wie solche noch im Weltenraume gefunden werden), der sich über die jetzigen Bahnen der äussersten Planeten hinauserstreckte und sich in bestimmter Rotationsbewegung befand. Durch Anziehung zog er sich zusammen, erhitzte sich dabei immer mehr und vergrösserte seine Rotationsgeschwindigkeit. Einzelne Massen lösten sich rotierend ab (wie dies eine rotierende in Wasser-Alkoholgemisch schwimmende Oelkugel zeigt), von ihnen wieder andere, teilweise zunächst als Ringe (Ringe des Saturn), auch diese Einzelkörper verdichteten und erhitzten sich mehr und mehr, aber nur bis zu einer gewissen Grenze. Dann überwog bei den kleineren Massen die Ausstrahlung, so dass sie erkalteten und nicht mehr leuchteten, während die grösseren (vielleicht leuchtet Jupiter noch heute ganz matt), namentlich die Sonne ihre Hitze nur ganz langsam mindern können. Auch der mittlere Abstand

Digitized by Google

der Bahnen wird konstant, bis er sich nach ausserordentlicher Zeit wieder vermindert. Einzelne Massen fallen wieder in die anziehenden Körper zurück.

Vieles bleibt dabei unerklärt, namentlich vermag man über die doch thatsächlich vorhandenen Abweichungen, besonders der Axenrichtungen (Erde, Mars) keine genauen Erklärungen zu geben. Zurückfallen von Monden könnte allerdings Umstellungen von Axen zur Folge haben, auch Zusammenstoss mit fremden Massen; indessen haben wir derartiges bisher bei unseren Planeten nicht beobachten können (mit Ausnahme der einflusslosen Sternschnuppenfälle).

Grosse Transporte von Massen, wie Meeres- und Luftströmungen sie bewirken, erregen ein geringes Schlottern der Erdaxe, das man neuerdings beachtet. (Im nächsten Jahre sollen auf Kosten aller Völker vier Stationen, in Sardinien, Japan, Kalifornien und Virginien, zur Beobachtung der Lage der Erdaxe errichtet werden). Auch die örtlichen Wirkungen von Ebbe und Flut bieten der Mond- und Sonnenanziehung neue Anhaltspunkte.

Die Naturforschung lehrt, dass die organischen Wesen der Erde einer Entwicklung fähig sind, besonders verstehen sie es sich einer sehr langsamen Veränderung der Lebensbedingungen anzupassen. „Wer weiss zu sagen, zu welcher Stufe der Vollendung bei dem wunderbaren Anpassungsvermögen an die Bedingungen des Lebens, welches allen Organismen zukommt, unsere Nachkommen nach 17 Millionen Jahren sich ausgebildet haben werden; ob unsere Knochenreste ihnen nicht vielleicht ebenso ungeheuerlich vorkommen möchten

Digitized by Google

wie die der Ichthyosauren uns jetzt, und ob sie, eingerichtet für ein feineres Gleichgewicht, nicht die Temperaturextreme, zwischen denen wir uns bewegen, für ebenso gewaltsam und zerstörend halten werden, wie uns die der ältesten geologischen Perioden erscheinen würden". (H. v. Helmholtz, populäre wiss. Vorträge, die Entstehung des Planetensystems).

Digitized by Google

Register.

Abendweite 35.
Aberration 130.
Abplattung 70. 71. 77.
Abplattungsschwankungen 167.
Aldebaran 33.
Altazimut 29.
Anfangsmeridian 41.
Antipoden 17.
Anziehung 17. 48 ff.
Anziehungsgrösse 148.
Aphel 115.
Apsidenlinie 154.
Aequator 30. 77.
Aequinoktien 89.
Aristarch 107.
Aristoteles 17.
Arkturus 33.
Atmosphäre 35.
Ausschlagswinkel 51.
Aufsteigung 95.
Ausstrahlung 179.
Axen 7. 9. 10. 11.
„ der Erde 62. 64. 182.
Axe des Mondes 143.

Bär, der grosse 33.
Beharrung 50. 64. 66.
Berlin 62. 75.
Beschleunigung 69.
Bewegung 54. 69.
Bootes 33.
Bradley 126. 130.
Breite, geographische 41. 45.
Breite, verbesserte 51.
„ Sternbreite 96.
Brocken 18.

Capella 33.
Cassiopeia 33.
Cayenne 67.
Centrifugalkraft 57.
Chinesen 19.
Chronometer 48.

Circumpolarsterne 30.

Datum 173.
Dämmerung 93.
Deklination 36.
Deneb 33.
Dimensionen der Erde 74 ff. 77.
Drehung des Himmels 58.
Druckverteilung im Meere 159.

Ebbe und Flut 157 ff.
Ekliptik 90.
Elektrische Signale 47.
Ellipse 10.
Entstehung der Erde 177 ff.
Entfernung der Sonne 121.
Erdabplattung 77.
Erdanziehung 48 ff.
Erdaxe 62. 64.
Erdaequator 40. 77.
Erdpole 40.
Erde, Kugelgestalt 77.
Erdkrümmung 89 ff.
Erdmasse 148.
Erdmaasse 74 ff. 77.
Erdmeridian 41.
Erdmittelpunkt 27. 89. 44. 59. 146.
Erdradius 77.
Erdrotation 56. 60.
Erde, jährliche Bewegung 114. 126.
Evektion des Mondes 154.
Evektion des Wassers 158.
Excentricität 160.

F. 94.
Fadenkreuz 21. 29.
Fallgesetze 55.

Fallgrösse 151.
Fallversuche 60. 64.
Federuhr 56.
Federwage 67.
Fixsterne, punktförmig 25.
Fixsterne, Aberration 130.
Fixsterne für Südbestimmung 22.
Finsternis 81. 128. 136. 141. 144.
Flimmern 88.
Flut und Ebbe 152 ff. 157.
Förster 86.
Foucault 61. 63. 65.
Freiburg 60.
Frühling 89. 164. 166.
Frühlingspunkt 93 ff.
Fuss 78.
Fuhrmann 33.

G. 49. 53. (für Berlin) 54. 56. 69. 75.
Galilei 50. 51. 55. 84. 127.
Geissler, Apparat für Planetenschleifen 109, für Präcession 165.
Geographische Breite 41. 77.
Geographische Länge 41. 77.
Geographische Meile 77.
Geschwindigkeit 49. 50. 69.
Geschwindigkeit des Lichtes 125. 128.
Gesetz der Schwere 146.
Gewicht 50. 146.
Gesichtsfeld 12. Weite 15. Linie 15. Winkel 18.
Grad auf der Erde 40.
Gleicher 30.
Globus 79.

Digitized by Google

Gravitation 144.
Greenwich 41. 104.
Griechen 106.

Heliometer 125.
Himmelskugel 26. Meridian 28. Pol 29. Aequator 30. 34. Axe 59.
Herbst 89.
Helmholtz 183.
Höhe eines Sternes 21. 28.
Höhenmasse (Kreis) 21
Höhenparallaxe 120.
Horizontal 18. Parallaxe 119.
Horizont, natürlicher 14. astronomischer 15. scheinbarer und wahrer 27.
Höhenazimut 29.
Hook 59.
Huygens 54. 130.

Jahr, julianisch 173. tropisch 168.
Jahresanfang 101. 172.
Jakutsk 92.
Januar, erster 101.
Juli, zweiter 103.
Jupitersmonde 127.

Kältepole 92.
Kalender 172.
Kant 181.
Karten 76.
Kegelschnitte 146.
Kepler 114 ff. 144.
Keplers Gesetze 114. 150. 151.
Kimmung 15.
Knotenlinie 138. 143.
Knoten der Mondbahn 138. 155.
Kolur 96.
Kolumbus 17. 19.
Kompass 20 24. 81.
Komponenten 69.
Kometen 24
Konvergent 86.
Konjunktion 113.
Koordinaten 7.
Kraft 54. Erhaltung 177.
Krebs 89.
Kremer 80.
Kreis, grösster 11. Schwingung 57. Schlüsse 86. excentrischer 106.
Kreiselbewegung 164.
Kugelgestalt 16.
Kulmination 28. 29. 42. 46. 53. 76.

Länge eines Sternes 96. geographische 41 76.
Laplace 157. 181.
Leverrier 156.
Leyer 33.
Libelle 16 20. 22.
Libration 143. 144.
Lichtbewegung 46. 125. 128. Signal 46.
Lot 13. 22.
Luftwiderstand 51. 54.

Magnetnadel 18. 48.
Magelhaen 17.
Maass der Erdanziehung 49.
Massenanziehung 144 ff. Einheit 147.
Mathematisches Pendel 52.
Meile 77. 78.
Meridianebene 22. 23. Fernrohr 23. 24. Kreis 23. des Himmels 28.
Merkator 80.
Meteorschwärme 178.
Messkette 42.
Meter 43.
Milchstrasse 25. 33.
Mittag 19.
Mittlere Sonne 98. 102.
Monat, siderisch 138. synodisch 136. drakonitisch 139. snamen 175.
Mond, Bahn 135 ff. 138. 141. Monde 24. Knoten 139. Phasen 137. 142. Entfernung 140. Grösse 135. 140. Rotation 130. Jahre 175. Finsternis 136. 141.
Morgenweite 35.

Nachtbogen 38.
Nadir 28.
Nautisches Dreieck 36.
Neptuns Entdeckung 156.
Neumond 135 136.
Nippflut 162.
Newton 59. 130. 144.
Nordsüdlinie 21. 22.
Nordpunkt 21. Reise nach N. 66.
Nutation 169.

Optische Täuschungen 32.
Opposition 113.
Orientieren, im Walde 18. auf See 81.
Ostpunkt 21.

p 119.
Parallaxe der Sonne 119.
Parallelkreis des Himmels 29.
Parallelogramm der Kräfte 69.
Pendel 13. 50. 55. Gesetze 51. 52. Uhr 53. 54. 58. 74. 83. Foucaults 61. 65.
Perihel 48. 115.
Picard 148.
Planeten 24. 107. scheinbare Bewegung 105 ff.
Polarkreise 90. -stern 30.
Pole des Himmels 29. der Ekliptik 96
Ptolemaeus 58. 107. 108.
Präcession 139. 163 ff.
Projektion 8.

Quadrant 43.

Reibung 54.
Reich, Fallversuche 60.
Reihen 86.
Rektascension 95.
Resultante 69.
Richer 67. 148.
Römer 127.
Rotation, der Erde 56 ff. 60. 180. Axenänderung 178.
Rückläufige Bewegung 110.
Rückwärts 88. 94. 97. 98. 110. 111. 135.

Schatten 21. 141.
Schiefe 90 138. 161.
Schleifen 105 ff.
Schwerpunkt 78. 79. 1

Digitized by Google

Schweifstern 24.
Schwingungsdauer 51. Kreuz 165.
Schwungkraft 57 ff. 67 ff. 72. 117. 145.
Schwerpunkt 78. 79. 149.
Sehmittelpunkt 12. Winkel 16. Weite 16.
Sicherheit 75. 82.
Signal 46. 47.
Singapore 92.
Sommer 24. 89.
Sonne 19. Bewegung 87 ff. 97. 100. 125. Rand 24. Bahn 90. 100. 106. Mittlere 97 ff. Jahr 102. Entfernung 105. 121. Grösse 105. 121. Nähe 115. Masse 151 Uhr 22. Finsternisse 136. 142. 144.
Sonnentag 89. 98.
Spiegelsextant 46.
Spinnewebenfaden 21. 22. 74.
Springflut 160. 162.
Sternbreite 96. Länge 96. Bilder 25. 93. Tag 30. 74. 95. Warte 38. Poldistanz 36. Zenithdistanz 36. Zeit 30. 74.
Steinbock 89.
Stier 88.
Strahlenbrechung 35. 38.
Störungen 115. 152 ff.
Stundenwinkel 36.
Süden 19. 23.
Südpunkt 21 Pol 30.
Südlich 40.

Tag 89. 95. 98. 102. Bogen 35.
Tagundnachtgleichen 89. 164.
Taktzähler 52.
Theodolit 29.
Tierkreis 169.
Toise 78.
Trabanten 24.
Trägheitsgesetz 50. 51.
Triangulation 42. 76.
Trigonometrie 42.
Tropisches Jahr 168.

Uhr 47. 56.
Umdrehung der Erde 56. 84.
Uranus 156. Monde 181.

Venus, scheinbare Bewegung 109—111. Durchgang 120.
Verfinsterung 81. 128. 136. 141. 144.
Vertikal 13. 48. 71. Ebene 21. 23. Erstes 46.
Vorwärts 94. 111.
Vorrückung 139.
Vollmond 136.

Wagen 33.
Wagerecht 13.
Wasserwage 15.
Wandelstern 24.
Weltraum 178.
Weltaxe 30. 34.
Wendekreise 89.
Westpunkt 21.
Windrose 23. 24.
Winter 24. 88.
Woche 175.
Wurf 145.

Zeichen des Tierkreises 169.
Zeit, Mass 74 ff. Unterscheidung 75. Mitteleuropäische 104. Gleichung 103. 105.
Zenith 27. Distanz 34. Poldistanz 36.
Zirkelschlüsse 86.
Zone 41. 90. 104.
Zukunft der Erde 177 ff.
Zurechtfinden 18. 81.
Zurückbleiben 88. 94. 97. 98. 110. 111. 135.

Digitized by Google

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband. **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

103 **Wechselkunde** von Dr. Georg Funk.
Mit vielen Formularen.

104 **Oesterreich. Geschichte** von der Urzeit bis 1520 von Prof. Dr. Franz v. Krones.

106 **Forstwissenschaft** von Prof. Dr. Ad. Schwappach.

107 **Geschichte d. Malerei I.** von Prof. Dr. Rich. Muther.

108 **Geschichte d. Malerei II.** von Prof. Dr. Rich. Muther.

109 **Geschichte d. Malerei III.** von Prof. Dr. Rich. Muther.

114 **Klimalehre** von Prof. Dr. W. Köppen.

116 **Plastik** von Dr. Hans Stegmann.

119 **Burgenkunde** von Hofrat Dr. O. Piper.

Urteile der Presse über „Sammlung Göschen".

Deutsche Lehrerzeitg., Berlin: ..... Nach den vorliegenden Bändchen stehen wir nicht an, die ganze Sammlung aufs angelegentlichste nicht allein zum Gebrauch in höheren Schulen, sondern auch zur Selbstbelehrung zu empfehlen.

Natur: Es ist geradezu erstaunlich, wie es der rühmlichst bekannte Verlag ermöglicht, **für so enorm billige Preise so vorzüglich ausgestattete Werkchen** zu liefern. Das vorliegende Bändchen bringt in knapper und verständlicher Form das Wissenswerteste der **Mineralogie** zum Ausdruck. Saubere Abbildungen erleichtern das Verständnis.

Globus: Es ist **erstaunlich, wie viel diese kleine Kartenkunde bringt,** ohne an Klarheit zu verlieren, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß **viele Abbildungen** den Raum stark beengen. **Vortrefflich** wird die **Kartenprojektionslehre** und die **Topographie geschildert.**

Nationalzeitg.: **Es ist bis jetzt in der deutschen Litteratur wohl noch nicht dagewesen,** daß ein Leinwandband von fast 300 Seiten in vorzüglicher Druck- und Papierausstattung zu einem Preis zu haben war, wie ihn die „Sammlung Göschen" in ihrem neuesten Bande, Max **Koch's Geschichte der deutschen Litteratur** für den Betrag von **sage achtzig Pfennige** der deutschen Leserwelt bietet.

Leipziger Zeitung: Wer sich rasch einen guten Ueberblick über das Gebiet der deutschen Heldensage verschaffen will, ob eigene intensivere Studien machen zu können, der greife getrost dem Büchlein von Jiriczek.

Prakt. Schulmann: Ein **Meisterstück kurzen und bündig**

Digitized by Google

turgeschichte" von Prof. M. Koch ist auch die vorliegende „**Deutsche chte im Mittelalter**".

atur: In der **Chemie** von Dr. Klein empfängt der Schüler fast wie er als Anfänger bedarf, mindestens aber so viel, daß er das swürdigste als unentbehrliche Grundlage zum Verständnisse der e empfängt. . .

unst f. Alle (München): K. Kimmich behandelt in seinem jen, „Zeichenschule" benannt, in **knapper, kerniger, sachlich-vußter Form** das weite Gebiet des bildmäßigen Zeichnens Talens. . . . Gleich nutzbringend und in reichstem Maße bildend ehrer, Schüler und Liebhaberkünstler, möchte ich das **wirklich liche Werk** mit warmen anerkennenden Worten der Ein- g in Schule, Haus und Werkstatt zugänglich machen. Die Aus- g ist dabei eine so vornehme, daß mir der Preis von 80 Pfennigen gebundene Werk von 138 Seiten kl. 8° wirklich **lächerlich billig** t. Nicht weniger als 17 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck, 135 Voll- und Textbilder illustrieren den **äußerst gesunden Lehr-**ieser Zeichenschule in **feinfühlender Weise**.

chwäb. Merkur: **Prof. G. Mahler** in Ulm legt uns eine lung der **ebenen Geometrie** vor, die bis zur Ausmessung des einschließlich geht. Besondere Sorgfalt ist der Auswahl und ung der Figuren zu teil geworden, deren saubere Ausführung farben angenehm berührt.

lobus: **Hoernes, Urgeschichte.** Der bewährte Forscher auf **vor-htlichem Gebiete** giebt hier in knappster Form die lehrreiche Zu-nstellung des Wissenswertesten der Urgeschichte. **Vortrefflich ge-zur Einführung und zum Ueberblick.**

ahresberichte der Geschichtswissenschaft: Hommel, n Gebiet der altorientalischen Geschichte eine anerkannte Autorität, elt in diesem Bändchen die morgenländische Geschichte oßer Genauigkeit und wissenschaftlicher Gründlichkeit in knappster Das kleine Büchlein muß warm empfohlen werden.

pzgr. Ztg. (Wissensch Beil.): „Die **Pflanze**" **von Dr. E. Dennert** wir bestens empfehlen. In kürzester, knappester, **sehr klarer und dlicher Form** weiß sein Verfasser alles Wissenswerteste über den und äußeren Bau und über die Lebensverrichtungen der Pflanze nschauung zu bringen, wozu seine **ganz vortrefflichen, selbstge-ten Textabbildungen** außerordentlich viel beitragen helfen.

chwäb. Merkur: Die **Römische Altertumskunde** von **Dr. Leo** behandelt kurz und klar die Verfassungsgeschichte, die Staats-en, Heerwesen, Rechtspflege, Finanzwesen, Kultus, das Haus, die ng, die Bestattung und andere öffentliche und häusliche Einrich- der Römer . . . .

eimarsche Zeitg.: **Waltharilied.** Mit dieser Uebersetzung ns eine hochwillkommene und von Litteraturfreunden längst er-Gabe geboten. . . . Von einer guten Uebersetzung ist zu ver-, daß sie, sinn- und zugleich möglichst **wortgetreu**, ohne dem Ur-ie der deutschen Sprache Gewalt anzuthun, den Geist des **Originals**

und ungetrübt wiederspiegele. Dieser Forderung gerecht zu we
Althof in meisterhafter Weise verstanden.

Blätter f. d. bayr. Gymn.-Schulw.: **Swoboda, Griech. Ge-**
hte. Schon der Name und der Ruf des Verfassers bürgt dafür, daß wir
etwa bloß eine trockene Kompilation vor uns haben, **überall zeigen sich**
Spuren selbständiger Arbeit.

Prakt. Schulmann: **Seyfert, Schulpraxis.** Es wird in **ge-**
igter Darstellung ein reicher, wohldurchdachter, den neuesten
igogischen Bestrebungen gerecht werdender Inhalt geboten und
en, **der tie**fer eindringen will, ist gesorgt durch reichhaltige Litteratur-
weise.

Z
früh
hm
jea
n
dick
de
ich

. I
tat
n
tie
B
pe
Fi
rn
aff
r
br
m
ft
l
l
ir
n
b
ge
li
e ... In allen Fragen
t er den neueste ...
Schweizerisch ... die Perspektive
Freyberger ... nen von Becker
cht, wird seine ... für so wenig Geld
wohl kaum and ... ionen sind saube
akt. Der Text ... a, wo er mehr
als ausführt, ... anregend.

Digitized by Google